

DISEÑO DE UN TÚNEL DE VIENTO, CON MONITOREO POR TELEMETRÍA,  
PARA PRUEBAS DE ESTRUCTURAS DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ANDRÉS CAMILO ARIAS RIVEROS  
CRISTHIAN ANDRÉS PEÑA PARDO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ  
2.017

DISEÑO DE UN TÚNEL DE VIENTO, CON MONITOREO POR TELEMETRÍA,  
PARA PRUEBAS DE ESTRUCTURAS DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ANDRÉS CAMILO ARIAS RIVEROS  
CRISTHIAN ANDRÉS PEÑA PARDO

Proyecto integral de grado para optar al título de  
**INGENIERO MECÁNICO**

Director  
Carlos Urrego Rodríguez  
Ingeniero Mecánico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ  
2.017

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado 1

---

Jurado 2

Bogotá D.C junio de 2.017

## DIRECTIVAS UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García- Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Camilo Posada García-Peña

Decano Facultad de Ingenierías

Dr. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director de Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza Villamil.

Fundación Universidad de América, directivos, docentes, orientadores y jurados calificadores no son responsables de la información expuesta en el presente documento. La responsabilidad es propia de los investigadores.

Este proyecto de grado está dedicado a:

A mi mamá, Yamile Riveros Urrego, por darme educación de calidad a lo largo de mi vida y esforzarse siempre por sacarnos adelante a mi hermano y a mí.

A mi hermano, Juan Pablo Arias Riveros, por ser el mejor hermano que puedo tener, por darme tantos momentos de alegría, por ser una persona que me llena de felicidad desde que llego a nuestras vidas.

A mi familia, por darme el apoyo necesario al estar lejos de hogar.

Andrés Camilo Arias Riveros

Dedico este proyecto de grado:

A Dios.

A mis papás que luchan por dejar hombres de bien al servicio de la sociedad y mis hermanos que son un apoyo incondicional en cualquier momento.

A mis abuelos por su preocupación y gran concejo en la vida.

A mis amigos con los que superé esta etapa de mi vida y se guardaron muy gratos recuerdos en mi memoria.

A mi novia por su preocupación y entrega durante la carrera.

Cristhian Andrés Peña Pardo

Agradezco a la Fundación Universidad de América, por la formación profesional que he recibido de los docentes al largo de los semestres de carrera y en especial al Ingeniero Carlos Urrego, director del proyecto, por proponer el tema y recibir su apoyo, compromiso y dedicación para sacar este proyecto adelante.

Igualmente agradezco a mi compañero Cristhian Andrés Peña Pardo por su compromiso, entrega y dedicación en el proyecto.

Andrés Camilo Arias Riveros

Agradezco a la Fundación Universidad de América, por su participación en mi formación como profesional, a los profesores y demás que participaron en este proyecto en especial al Ingeniero Carlos Urrego, director del proyecto, por su confianza y compromiso.

Agradezco también a mi compañero de grado Andrés Camilo Arias Riveros por su entrega y participación en el proyecto.

Cristhian Andrés Peña Pardo

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. FORMULACIÓN TEÓRICA	19
1.1 PRINCIPALES COMPONENTES	19
1.1.1 Zona de estabilización de flujo	19
1.1.1.1 Panel de abeja	19
1.1.1.2 Mallas	20
1.1.2 Sección de contracción	20
1.1.3 Cámara de prueba	20
1.1.4 Difusor	20
1.2 TIPO DE TUNELES DE VIENTO	20
1.2.1 Velocidad de operación	20
1.2.2 Topología física	21
1.2.2.1 Tipo de retorno	21
1.2.2.1.1 Circuito abierto	21
1.2.2.1.2 Circuito cerrado	21
1.2.2.2 Cámara de prueba	21
1.2.2.2.1 Sección cerrada	21
1.2.2.2.2 Sección abierta	21
1.3 PRUEBAS MÁS COMUNES	21
1.3.1 En estructuras civiles	21
1.3.1.1 Viento de peatones	22
1.3.1.2 Calidad del aire	22
1.3.1.3 Estudio topográfico y de terreno	22
1.3.1.4 Estudio en modelos a escala	22
1.3.2 En ingeniería mecánica	22
1.3.2.1 Distribución de la presión	22
1.3.2.2 Visualización del flujo	22
1.3.2.3 Estudio del aire	22
1.4 PARÁMETROS PARA EL FLUJO EN UN TÚNEL DE VIENTO	22
1.4.1 Número de Reynolds	22
1.4.2 Coeficiente de arrastre	23
1.4.3 Teorema de Bernoulli	23
1.4.4 Relación Mach	24
1.5 PARÁMETROS DE SIMILITUD	24
1.5.1 Semejanza Geométrica	24
1.5.2 Semejanza cinemática	24
1.5.3 Semejanza dinámica	25
1.6 TELEMETRÍA	26



2. CARACTERIZACIÓN DE LOS TÚNELES DE VIENTO ENFOCADOS A AERODINÁMICA Y ARQUITECTURA	28
2.1 TÚNELES DE VIENTO ENFOCADOS A LA AERODINÁMICA	28
2.1.1 Túnel de viento de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá	28
2.1.2 Túnel de viento de la Fuerza Aérea Colombiana	29
2.1.3 Túnel de viento de la Fundación Universitaria Los Libertadores	30
2.1.4 Túnel de viento Universidad de los Andes	32
2.2 TÚNELES DE VIENTO ENFOCADOS A LA ARQUITECTURA	32
2.2.1 Túnel de viento de la Universidad Politécnica de Madrid	32
2.2.2 Túnel de viento Universidad Técnica De Dinamarca	33
2.2.3 Túnel de viento facultad de Ingeniería Universidad Nacional de La Plata	34
2.3 COMPARACIÓN ENTRE LOS TÚNELES DE VIENTO SELECCIONADOS	35
3. PARÁMETROS DE DISEÑO	37
3.1 REQUERIMIENTOS Y LIMITANTES PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL DE VIENTO	37
3.1.1 Tamaño Cámara de prueba	37
3.1.2 Velocidad del fluido en la cámara de prueba	37
3.1.3 Requerimientos de la Facultad de Arquitectura	37
3.1.4 Requerimientos del Programa de Ingeniería Mecánica	37
3.2 ALTERNATIVAS DE DISEÑO	37
3.3 CONDICIONES CLIMÁTICAS DE BOGOTÁ	40
4. DISEÑO DE INGENIERÍA BÁSICA	42
4.1 PÉRDIDAS TOTALES DEL SISTEMA	42
4.1.1 Sección de estabilización de flujo	42
4.1.1.1 Panel de abeja	42
4.1.1.2 Malla	45
4.1.2 Zona de contracción	47
4.1.3 Sección de prueba	47
4.1.4 Difusor	49
4.1.5 Modelo	52
4.2 ZONA DE CONTRACCIÓN	54
4.3 ESTABILIZACIÓN DE FLUJO	56
4.3.1 Panel de abeja	56
4.4 DIFUSOR	57
4.5 SECCIÓN DE PRUEBA	58
4.6 FUERZA DE PROPULSIÓN	59
4.7 PRESIÓN DE ENTRADA AL VENTILADOR	62
4.8 CÁLCULO DEL MOTOR	62
4.10 INSTALACIÓN PARA ALBERGAR EL TÚNEL DE VIENTO	65
4.11 ESTRUCTURA SOPORTE	67

5. SIMULACIÓN	69
5.1 DOMINIO	69
5.2 CONDICIONES INICIALES	70
5.3 SOLUCIONADOR	71
5.4 FLUIDO	71
5.5 DELTA DE TIEMPO	71
5.6 ESTUDIO DE INDEPENDENCIA DE MALLA	71
5.7 DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DEL FLUJO	72
5.8 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA A PARTIR DE LAS SIMULACIONES	74
6. INSTRUMENTACIÓN	75
6.1 MEDICIÓN DE PRESIÓN	75
6.1.1 Tubo Pitot	75
6.1.2 Tubo Pitot estático	76
6.1.3 Micro manómetro	77
6.1.4 Manómetro de multi-tubo	78
6.2 VISUALIZACIÓN DE FLUJO	80
6.2.1 Mechones y redes de mechones	80
6.2.2 Humo.	80
6.2.3 Cámara de alta velocidad.	81
6.3 MEDICIÓN DE VELOCIDAD	81
6.3.1 Tubo Pitot	81
6.3.2 Anemómetros térmicos	82
6.4 MEDICIÓN DE TEMPERATURA	84
6.4.1 Anemómetro térmico	84
6.4.2 Termocupla	84
6.5 BALANZA AERODINÁMICA	84
6.6 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS EN TIEMPO REAL	85
6.7 SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS COMERCIALES PARA EL TÚNEL DE VIENTO	86
6.8.1 Manómetros con sonda Pitot	87
6.8.2 Termocupla	87
6.8.3 Generador de humo	87
6.8.4 Cámara de alta velocidad	87
6.8.5 Anemómetro térmico	87
6.8.6 Registrador de datos de temperatura	87
6.8.7 Sistema de adquisición de datos y sistema de transmisión de datos por telemetría	87
6.8.8 Balanza aerodinámica	87
6.8.9 Computador	87
7. PRESUPUESTO	88
7.1 COSTO MATERIALES	88
7.2 COSTO DE INSTRUMENTOS	89

7.3 COSTO DEL SISTEMA DE POTENCIA	90
7.4 COSTO TOTAL	91
8. CONCLUSIONES	92
9. RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXOS	99

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Clasificación según la velocidad máxima de operación	20
Cuadro 2. Comparación entre los túneles de viento	36
Cuadro 3. Ventajas y desventajas	38
Cuadro 4. Calificación de los tipos de túneles de viento	39
Cuadro 5. Comparación entre un túnel de viento promedio frente a uno propuesto	39
Cuadro 6. Comparación entre los túneles de viento caracterizados y el propuesto	40
Cuadro 7 Coeficiente m en relación al ángulo	50
Cuadro 8. Pérdidas de presión	53
Cuadro 9. Coordenadas del contractor	55
Cuadro 10. Independencia de malla	72
Cuadro 11. Potencia de simulación	74
Cuadro 12. Cotizaciones	91

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Dimensiones generales	29
Figura 2. Túnel de viento de la FAC	30
Figura 3. Túnel de viento Fundación Universitaria Los Libertadores	31
Figura 4. Túnel de viento de calibración S4	33
Figura 5. Túnel de Viento Universidad Técnica de Dinamarca (cm)	34
Figura 6. Túnel de Viento Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de La Plata	35
Figura 7. Nomenclatura de la malla	46
Figura 8. Difusor de salida de viento	51
Figura 9. Ángulo del difusor	52
Figura 10. Curva del contractor	55
Figura 11. Contractor	56
Figura 12. Sección de estabilización de flujo	56
Figura 13. Panel de abeja	57
Figura 14. Difusor	57
Figura 15. Sección de prueba	58
Figura 16. Parte inferior de la cámara de prueba con las medidas para instalación de instrumentos	58
Figura 17. Túnel de viento ensamblado	59
Figura 18. Jet power por unidad de área para velocidades seleccionadas	60
Figura 19. Fuerza de propulsión por unidad de área	61
Figura 20. Selección en software Ecaps	64
Figura 21. Ecasp Modelo VADS-72F26-06	64
Figura 22. Dimensiones del túnel de viento	66
Figura 23. Dimensiones del recinto del túnel de viento	66
Figura 24. Esquema de conexión en circuito abierto	67
Figura 25. Disposición de la estructura soporte del túnel de viento	67
Figura 26. Diseño de la estructura soporte	68
Figura 27. Paredes de simulación	69
Figura 28. Malla	70
Figura 29. Densidad de malla	70
Figura 30. Reynolds en la cámara de prueba	72
Figura 31. Vorticidad en la cámara de pruebas	73
Figura 32. Vorticidad y Reynolds para simulaciones 55k, 70k y 111k elementos	73
Figura 33. Variación del error con respecto al ángulo de incidencia de flujo	76
Figura 34. Tubo Pitot estático	76
Figura 35. Micro manómetro análogo	77
Figura 36. Micro manómetro digital con sonda Pitot	78
Figura 37. Manómetro de multi-tubo	79
Figura 38. Mediciones con manómetro de multi-tubo	79

Figura 39. Prueba con mechones en túnel de viento.	80
Figura 40. Prueba con humo en un túnel de viento	81
Figura 41. Cámara de alta velocidad PHANTON V210	81
Figura 42. Micro manómetro con tubo Pitot	82
Figura 43. Anemómetro térmico de mano	83
Figura 44. Termo anemómetro de hilo caliente	83
Figura 45. Registrados de temperatura con termocupla desnuda	84
Figura 46. Balanza aerodinámica de 3 componentes	85
Figura 47. Diagrama de manejo de la señal por medio de un sistema digital de adquisición de datos.	86

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Anemómetro	100
Anexo B. Tubo Pitot con manómetro diferencial	103
Anexo C. Balanza aerodinámica	107
Anexo D. Cámara de alta velocidad	110
Anexo E. Generadora de humo	115
Anexo F. Termómetro digital	119
Anexo G. Motor	122
Anexo H. Sistema de adquisición de datos	127
Anexo I. Mallas de estabilización de flujo	129
Anexo J. Lamina Cold Rolled	131
Anexo K. Lona	133
Anexo L. Planos	135

## RESUMEN

Un túnel de viento es un equipo que permite realizar análisis del comportamiento de un objeto frente a una corriente de viento a una velocidad determinada; este estudio requiere de unas condiciones de semejanza geométrica, semejanza cinética y semejanza dinámica. Para el desarrollo del proyecto se realizó una selección de siete túneles de viento enfocados a aerodinámica y arquitectura con el fin de caracterizar la situación actual de los túneles de viento en Colombia y principalmente en la aplicación a arquitectura y determinar cómo se encuentra el túnel propuesto para la Fundación Universidad de América frente a los demás. Para determinar el tamaño total y la potencia requerida por el túnel de viento para cumplir con las condiciones de diseño se calcularon las pérdidas que se generan por la geometría de sección transversal variable en el túnel y sus diferentes componentes, esto con el fin de determinar la potencia del ventilador requerido para garantizar la velocidad deseada en la cámara de prueba en el lugar en instalación que es Bogotá D.C. Para la validación del diseño se hizo uso del software OpemFoam y el solucionador rhoCentralFoam para flujo compresible y determinar el comportamiento del fluido en el túnel.

Palabras claves: Túnel de viento, semejanza, pérdidas, telemetría.

## ABSTRACT

A wind tunnel is an equipment that allows to perform analysis of the behavior of an object against a wind current at a given speed; This study requires conditions of geometric similarity, kinetic similarity and dynamic similarity. For the development of the project a selection of seven wind tunnels focused on aerodynamics and architecture was carried out in order to characterize the current situation of the wind tunnels in Colombia and mainly in the application to architecture and to determine how the tunnel proposed for the Fundación Universidad de América in front of the others. In order to determine the total size and power required by the wind tunnel to meet the design conditions, the losses generated by the variable cross-section geometry in the tunnel and its different components were calculated in order to determine the Fan power required to guarantee the desired speed in the test chamber at the installation site that is Bogotá DC For the validation of the design, the OpemFoam software and the rhoCentralFoam solver were used for compressible flow and to determine the behavior of the fluid in the tunnel.

Keywords: wind tunnel, similarity, lost, telemetry.



## INTRODUCCIÓN

La *importancia* del proyecto radica en el efecto producido por la energía cinética de las corrientes de viento que al chocar con objetos o estructuras genera cargas que afectan su funcionamiento o produce el movimiento de un dispositivo utilizado para la generación de energía eléctrica.

Para la ingeniería mecánica es importante el proyecto ya que da *origen* a la creación de nuevas líneas de investigación enfocadas al modelamiento y simulación, con una herramienta tan importante como un túnel de viento donde se hacen pruebas con modelos a escala, ya sea para optimización en los diseños o el funcionamiento de estos, o comparar resultados con los obtenidos de forma computacional.

En el aprovechamiento de la energía eólica es vital el uso de aerogeneradores, los cuales pueden ser costosos de fabricar, pero se pueden reproducir modelos a escala de menor costo y someterlos a prueba extrapolando sus resultados al tamaño real; un túnel de viento es una herramienta necesaria para hacer los estudios de generación de energía y de esfuerzos mecánicos presentes sobre la estructura soporte del aerogenerador. Las principales fuentes de generación eléctrica en Colombia utilizan recursos hídricos, los cuales son muy variables por los periodos de invierno y verano que se presentan<sup>1</sup> y los recursos térmicos que requieren de combustibles que generan un impacto ambiental negativo; la búsqueda de energías limpias hace que las líneas de investigación se enfoquen a la transformación de la energía eólica abriendo paso al diseño de aerogeneradores.

Las nuevas tendencias de construcción en Colombia donde se rompe la cultura de construir edificaciones con el mismo estilo de “caja de zapato”, es decir, con forma ortoédrica, abren paso a los diseños con formas irregulares y para esto, el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 tomo 1, capítulo B sección 6<sup>2</sup> tiene el método tres para análisis de cargas y fuerzas del viento en estos tipos de diseños donde es necesario un túnel de viento para realizar pruebas y verificar que se cumpla con las condiciones sismo resistentes.

Se plantea como *objetivo* principal “Diseñar un túnel de viento, con monitoreo por telemetría, para pruebas de estructuras de ingeniería y arquitectura”. Para dar cumplimiento a éste, el proyecto se divide en cuatro objetivos específicos donde se presentan: caracterizar la situación actual de túneles de viento enfocados en aerodinámica y arquitectura, diseñar un túnel de viento, con base en la

---

<sup>1</sup> REVISTA SEMANA. Crisis Energética Prende La Alerta Roja. Marzo,. Disponible en: [Http://Www.Semana.Com/Economia/Articulo/Electricidad-En-Colombia-Podria-Haber-Racionamiento/463015](http://www.Semana.Com/Economia/Articulo/Electricidad-En-Colombia-Podria-Haber-Racionamiento/463015)

<sup>2</sup> COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTES. Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente Nsr-10 Tomo 1. Bogotá D.C.: 2010. 406

caracterización de las condiciones de operación, de acuerdo con los requerimientos de los programas de Ingeniería Mecánica y Arquitectura, definir los sistemas básicos de medición, registro de datos y manejo de la información para la implementación de telemetría y por último elaborar el presupuesto para la implementación del túnel de viento.

El *alcance* que tiene el proyecto involucra el diseño de ingeniería básica de un túnel de viento y la definición de los sistemas básicos de medición, registro de datos y manejo de la información por telemetría. Las *limitaciones* del proyecto son que no se realizará un diseño definitivo, ni la implementación, ni el modelamiento o simulación del comportamiento del viento al interior del mismo y el tiempo para el desarrollo del proyecto.

La *metodología* para desarrollar el proyecto planteado cubre la caracterización de siete túneles de viento de los cuales cuatro están enfocados a la aerodinámica y tres están enfocados a la arquitectura, con la información técnica que se obtenga, plantear un diseño y de acuerdo con los requerimientos y parámetros técnicos solicitados por los programas de ingeniería mecánica y arquitectura de la universidad, diseñar un túnel de viento, con monitoreo por telemetría, para pruebas de ingeniería y arquitectura para funcionamiento en la Fundación Universidad de América.

Posteriormente, de acuerdo con las pruebas que se realizarán dentro del túnel, se definen los sistemas de medición, registro de datos y manejo de la información por telemetría y se elabora el presupuesto de la construcción e implementación del túnel de viento en la universidad.

En el área de ingeniería mecánica el túnel de viento se puede *aplicar*, entre otras actividades, al estudio de diseños aerodinámicos, al efecto de las cargas y resistencias que estos opongan al flujo, así como los vórtices y turbulencias que se presenten. En el área de arquitectura el túnel de viento se puede aplicar a la visualización del flujo sobre una edificación, una estructura o un perfil estructural frente a un flujo de viento.

Un túnel de viento para la Fundación Universidad de América brinda la posibilidad ser un referente local y nacional al ser la única institución de educación superior en ofrecer esta área de trabajo para los estudiantes y docentes investigadores de la facultad de arquitectura, ampliando, además, los campos de trabajo en múltiples áreas de ingeniería.

## 1. FORMULACIÓN TEÓRICA

Un túnel de viento, también conocido como un túnel aerodinámico, es un dispositivo utilizado para realizar pruebas del comportamiento de las corrientes de viento sobre una superficie o un elemento de ingeniería. Las pruebas a realizar son variadas y así mismo los parámetros a medir en el modelo de prueba.

Han sido utilizados en diferentes campos de la industria y la investigación en las últimas décadas desde el análisis del perfil del ala de un avión, hasta el comportamiento de las corrientes de aire sobre un automóvil o una estructura.

El túnel varía su tamaño dependiendo de la escala del modelo que se va a someter a prueba y está compuesto principalmente de una zona de estabilización de flujo, una zona de contracción, una cámara de ensayos, un difusor y un sistema de propulsión del aire (un ventilador). Dependiendo de la aplicación varían los aspectos técnicos del diseño, “Los túneles para usos aeronáuticos suelen tener cámaras de ensayo cortas, con longitudes que suelen ser dos o tres veces el tamaño característico transversal de la cámara de ensayos. Esto no es así en los túneles de simulación de capa límite, en donde se precisa una cierta distancia para que la capa límite se pueda desarrollar (al menos diez veces la dimensión transversal característica)”<sup>3</sup> o hasta 15 veces el tamaño de la cámara de prueba<sup>4</sup>.

### 1.1 PRINCIPALES COMPONENTES

Los componentes de un túnel de viento varían según su fin y su diseño, pero conservan elementos comunes que constituyen la columna vertebral de su funcionamiento.

1.1.1 Zona de estabilización de flujo. La función de esta sección es estabilizar el flujo de aire necesario para la prueba, eliminando los vórtices de gran tamaño que se puedan presentar y concediendo dirección y estabilizando la velocidad en todos los puntos al flujo de aire. Generalmente se encuentran dos tipos de dispositivos para estabilizar el flujo los cuales se pueden trabajar por separado o juntos en un solo montaje.

1.1.1.1 Panel de abeja. Este dispositivo está formado por un enmallado con forma de panel, el cual da al flujo la dirección deseada al pasar por este.

---

<sup>3</sup> SÁNCHEZ VÁZQUEZ, Jesús. Simulación Numérica Directa En Paralelo De Las Ecuaciones De Navier-Stokes En Flujos Con Capa Límite Desprendida. Aplicaciones En Instalaciones Deportivas Con Gradadas Cubiertas. Sevilla.: Escuela Superior De Ingenieros De Sevilla, 2004. p.101.

<sup>4</sup> BARLOW, Jewel; POPE, Alan y RAE, William. Low-speed wind tunnel testing. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, inc 1999.

1.1.1.2 Mallas. Este dispositivo se encarga de unificar el flujo estabilizando la velocidad en todos los puntos, pero presenta una pérdida de presión considerable.

1.1.2 Sección de contracción. Esta sección es un cono encargado de llevar el flujo de aire desde el estabilizador de flujo hasta la cámara de ensayo y suministrarlo a la velocidad adecuada para la prueba. El incremento de velocidad se produce por la reducción continua del área que acelera el aire al pasar a través de la contracción.

1.1.3 Cámara de prueba. Es el componente más importante del equipo, ya que es el espacio donde se realizará la prueba y se ubicará el objeto a estudiar. Este componente suele ser de geometría circular o rectangular dependiendo del diseño y la aplicación. En este espacio se miden las siguientes condiciones del flujo: velocidad, presión y temperatura, al igual que el régimen en que se encuentra el fluido.

La caracterización de las condiciones deseadas en la sección de prueba, la velocidad de flujo, los parámetros a medir y el tamaño del modelo a someter a ensayo determinan los parámetros de diseño requeridos.

1.1.4 Difusor. Esta sección se encuentra a continuación de la cámara de prueba y se encarga de disminuir la velocidad del flujo y aumentar la presión. Al final de esta sección se ubica el sistema de propulsión, el cual, dependiendo del diseño que se lleve a cabo con la sección de compresión y el difusor, determina la potencia del equipo para garantizar la velocidad máxima deseada en la cámara de ensayo.

## 1.2 TIPO DE TUNELES DE VIENTO

Para la caracterización de un túnel de viento se definen múltiples clasificaciones, según la velocidad de operación, la topología física, el tipo de retorno y la cámara de pruebas.

1.2.1 Velocidad de operación. De acuerdo con la velocidad de flujo experimentada en la cámara de prueba expresada como número de Mach (M), factor adimensional que se explica en la Sección 1.4.4, los túneles de viento se clasifican como;

Cuadro 1. Clasificación según la velocidad máxima de operación

Clasificación	Velocidad en Mach
Baja velocidad	$M < 0,6$
Subsónicos	$0,6 < M < 0,8$
Transónicos	$0,8 < M < 1,2$
Supersónicos	$1,2 < M < 5$
Hipersónicos	$5 < M$

Fuente. HALL, Nancy. Types Of Wind Tunnels. Mayo,. Disponible en: <https://www.Grc.Nasa.Gov/Www/K-12/Airplane/Tuntype.Html>

1.2.2 Topología física. En esta clasificación se tienen en cuenta dos tipos de túneles, según el modo de retorno del flujo y según la configuración de la cámara de prueba.<sup>5</sup>

1.2.2.1 Tipo de retorno. Según el tipo de retorno de aire los túneles de viento se pueden clasificar como circuito abierto o circuito cerrado.

1.2.2.1.1 Circuito abierto. El aire se extrae directamente del ambiente circundante donde se encuentra instalado, los túneles son rectos y poseen una zona de estabilización de flujo de mayor tamaño.

1.2.2.1.2 Circuito cerrado. El túnel de viento es completamente cerrado e independiente a las condiciones ambientales del exterior, el sistema de propulsión se encarga de recircular el aire en su interior hasta llevarlo a las condiciones deseadas para la prueba en la cámara de ensayo y mantener estas condiciones.

1.2.2.2 Cámara de prueba. Según la configuración de la cámara de prueba, son de sección cerrada y de sección abierta.

1.2.2.2.1 Sección cerrada. El flujo de aire interno del equipo se encuentra aislado del entorno exterior por medio de paredes de algún material sólido.

1.2.2.2.2 Sección abierta. El equipo se encuentra expuesto al ambiente exterior por algún costado de esta, el flujo limita con las condiciones del lugar.

Con las condiciones anteriormente mencionadas de la topología física de los túneles de viento, se tiene una clasificación que determina el tipo de túnel según su configuración<sup>6</sup>.

- ✓ Tipo Eiffel: Es de sección abierta y circuito de abierto
- ✓ Tipo Prandtl: Es de sección abierta y circuito cerrado
- ✓ Tipo NPL: Es de sección cerrada y circuito abierto
- ✓ Tipo Göttingen: Es de sección cerrada y circuito cerrado

### 1.3 PRUEBAS MÁS COMUNES

1.3.1 En estructuras civiles. Las pruebas que se realizan en túneles de viento son:

---

<sup>5</sup> BARLOW, Jewel; POPE, Alan y RAE, William. Low-speed wind tunnel testing. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, inc 1999.

<sup>6</sup> Ibid., p. 25.

1.3.1.1 Viento de peatones. Es el comportamiento del viento al nivel peatonal, se realiza con modelos estáticos. Se analiza el flujo alrededor del modelo, la velocidad y dirección de las corrientes, la evaluación y corrección del diseño para cumplir la normativa requerida y evaluación de la operación de helipuertos.

1.3.1.2 Calidad del aire. Es una prueba para determinar la calidad y las partículas dispersas a en el aire alrededor del edificio. Se utiliza con el fin de localizar los puntos en donde se pueden atrapar los contaminantes y las zonas de ingreso de aire fresco al edificio.

1.3.1.3 Estudio topográfico y de terreno. Es una prueba con modelos topográficos para la visualización del flujo de aire; se evalúa la rigurosidad del terreno, la correlación de flujo en lugares determinados para la calibración de anemómetros y la valoración del potencial para el aprovechamiento mediante energía eólica.

1.3.1.4 Estudio en modelos a escala. Respecto a los modelos a escala se tienen como limitantes los parámetros de similitud, especialmente el número de Reynolds, debido a que, para mantener este número igual tanto en el prototipo como en el modelo, si se reduce el diámetro hidráulico (escala del modelo con respecto al prototipo) es necesario aumentar la velocidad de flujo en el modelo y para escalas muy grandes es imposible.

1.3.2 En ingeniería mecánica. Las pruebas que se realizan en túneles de viento son:

1.3.2.1 Distribución de la presión. Se realiza un análisis cuantificado de la distribución de la presión en perfiles estructurales, piezas mecánicas, modelos a escala de vehículos, perfiles de alas en aeronáutica y aerogeneradores, entre otros.

1.3.2.2 Visualización del flujo. Se evalúa el comportamiento del flujo de aire alrededor de perfiles estructurales y modelos a escala para determinar lugares de generación de turbulencia a lo largo de los modelos estudiados.

1.3.2.3 Estudio del aire. Se analizan variables del viento, a manera de laboratorio, como velocidad relativa, condiciones de humedad y presión, turbulencias y temperatura en un análisis detallado y la relación entre las variables mencionadas.

## 1.4 PARÁMETROS PARA EL FLUJO EN UN TÚNEL DE VIENTO

1.4.1 Número de Reynolds. El número de Reynolds es un parámetro adimensional que relaciona las fuerzas inerciales con las fuerzas viscosas para establecer el régimen del flujo. Existen tres regímenes de flujo, laminar, de transición y turbulento; el flujo es laminar cuando el valor del número de Reynolds es  $\leq 2000$ , en transición

cuando esta entre  $2000 < \text{Reynolds} < 4000$  y régimen turbulento cuando el número de Reynolds es  $\geq 4000$ <sup>7</sup>;

$$Re = \frac{\rho * v * D_H}{\mu}$$

Donde;

$Re$ : Número de Reynolds

$D_H$ : Diámetro hidráulico de la sección

$\rho$ : Densidad del fluido

$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido

$v$ : Velocidad del fluido

1.4.2 Coeficiente de arrastre. Es una cantidad adimensional que se utiliza para calcular la fuerza de arrastre de un objeto en un flujo conociendo las propiedades del fluido. Está relacionado con la superficie del objeto donde se contempla la forma. Este coeficiente se calcula como<sup>8</sup>;

$$C_D = \frac{2F_D}{\rho * v^2 * A}$$

Donde;

$C_D$ : Coeficiente de arrastre.

$F_D$ : Fuerza de arrastre.

$A$ : Sección transversal del objeto.

1.4.3 Teorema de Bernoulli. Consiste en como la energía total de un sistema con flujo uniforme (densidad constante, estado estacionario, viscosidad despreciable) permanece constante a lo largo de su trayectoria; la energía total es la suma de la energía potencial, cinética y energía de flujo y en dos puntos a lo largo del flujo cada una puede variar, pero la suma siempre será la misma. Se representa con la Ecuación de Bernoulli<sup>9</sup>;

$$\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Donde;

---

<sup>7</sup> CENGEL, Yunus y CIMBALA, John. Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones Primera Edición. México: McGraw-Hill, 2006. p 148..

<sup>8</sup> Ibid., p 185.

<sup>9</sup> MUÑOZ, Alberto. Diseño y análisis computacional para túnel de viento de baja velocidad, Universidad Carlos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior, Proyecto de Grado, 2012, 156 p.

$p_1$ : Presión estática en el punto 1  
 $p_2$ : Presión estática en el punto 2  
 $\gamma$ : Peso específico del fluido  
 $Z_1$ : Altura sobre el nivel de referencia del punto 1  
 $Z_2$ : Altura sobre el nivel de referencia del punto 2  
 $v_1$ : Velocidad del fluido en el punto 1  
 $v_2$ : Velocidad del fluido en el punto 2  
 $g$ : Valor de la aceleración de la gravedad

1.4.4 Relación Mach. El número de mach es un parámetro adimensional que relaciona la velocidad del flujo con la velocidad del sonido local en fluidos en el mismo estado, es decir, la velocidad del sonido en el fluido que se analiza y su temperatura.

## 1.5 PARÁMETROS DE SIMILITUD

Para hacer la simulación de una estructura a escala es necesario garantizar unas condiciones de semejanza en el modelo y en las condiciones del flujo, estos parámetros son:

1.5.1 Semejanza Geométrica. El primer factor de similitud entre el modelo y el prototipo debe ser la semejanza geométrica. Dos modelos son geoméricamente semejantes si todas las dimensiones lineales que los caracterizan son proporcionales.

1.5.2 Semejanza cinemática. El perfil de velocidades a lo largo del modelo debe ser proporcional al perfil de velocidades que se observa en el prototipo y a su vez debe ser proporcional a la escala entre ellos. La relación se puede establecer con el parámetro adimensional número de Reynolds.

Si las propiedades físicas del fluido (temperatura, presión, densidad y viscosidad) son similares en el prototipo a escala y en la realidad, el Número de Reynolds del modelo y de la realidad deben ser iguales. Por lo anterior, al igualar estos tendríamos que  $Re_{real} = v_{real} * D_{H real}$  y  $Re_{Modelo} = v_{Modelo} * D_{H Modelo}$ , como el Reynolds se mantiene constante entonces  $v_{real} * D_{H real} = v_{Modelo} * D_{H Modelo}$ , calculando la velocidad que se debe mantener en el modelo;

$$v_{modelo} = \frac{D_{H real}}{D_{H Modelo}} * v_{real}$$

Y el factor que resulta de la división de diámetros hidráulicos está relacionado con la escala del modelo de la siguiente manera;



$$\frac{D_{H \text{ real}}}{D_{H \text{ Modelo}}} = \frac{\text{Escala real}}{\text{Escala modelo}}$$

Entonces, por ejemplo, si un modelo está a escala 1:100, el tamaño real es 100 veces el tamaño del modelo, de la misma manera el diámetro hidráulico real es 100 veces el diámetro hidráulico del modelo llegando a tener que multiplicar la velocidad del prototipo por 100 para saber la velocidad de flujo en el modelo, entonces si el prototipo está a 20 m/s, la velocidad a mantener en la cámara de prueba para el modelo debe ser de 2000 m/s y estas velocidades son muy altas e inalcanzables en pruebas comunes.

1.5.3 Semejanza dinámica. Semejante al perfil de velocidades, en el tercer factor de similitud las fuerzas que actúan sobre el modelo deben ser proporcionales a las que actúan sobre el prototipo real y esta proporción también está sujeta a la escala entre los dos. La relación adimensional del coeficiente de arrastre y una balanza de arrastre puede ayudar a extrapolar valores para calcular fuerzas en el prototipo real.

1.5.4 Independencia del número de Reynolds. Cuando el modelo de prueba tiene una escala muy pequeña en comparación con el prototipo real, mantener el número de Reynolds igual en el túnel se vuelve imposible, esto afecta a la prueba en que la velocidad del prototipo no se puede colocar a escala en el modelo como se muestra en el ejemplo de la escala 1:100, por tanto, la fuerza de arrastre hallada en la prueba no se puede extrapolar. Para eso, el autor Cengel propone que el coeficiente de arrastre se estabiliza y se vuelve independiente del número de Reynolds cuando  $Re$  es mayor a  $5 \times 10^5$ <sup>10</sup>, es decir que, si el número de Reynolds está por encima de este valor, el coeficiente de arrastre hallado se puede extrapolar y así poder calcular la fuerza de arrastre en el prototipo real.

El valor en el cual el coeficiente de arrastre se vuelve independiente de  $Re$  se puede hallar realizando un experimento con un modelo del cual se debe conocer su diámetro hidráulico. La velocidad de flujo se aumenta y para cada valor de velocidad se determina la fuerza de arrastre generada con una balanza aerodinámica. Luego con las velocidades utilizadas se determina el número de Reynolds y con la fuerza de arrastre se determina el coeficiente de arrastre. A continuación realiza una gráfica donde en el eje X se coloca los valores de  $Re$  y en el eje Y los valores de coeficiente de arrastre. En el valor de Reynolds donde el coeficiente de arrastre empieza a converger es donde este se vuelve a independiente de  $Re$ . Este procedimiento está detallado en el libro de referencia<sup>11</sup>.

---

<sup>10</sup> CENGEL, Yunus y CIMBALA, John. Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones Primera Edición. México: McGraw-Hill, 2006., p 300.

<sup>11</sup> Ibid., p300.

Para poder aplicar estos factores se requiere que el fluido se comporte como compresible, esto se garantiza manteniendo una relación Mach por debajo de 0.3<sup>12</sup>, es decir, una velocidad por debajo de 103,78 m/s para las condiciones ambientales en Bogota D.C. mediante la siguiente formula.

$$Ma = \frac{\text{velocidad de operación}}{\text{velocidad del sonido}}$$

$$\text{velocidad del sonido} = \sqrt{\frac{\gamma * R * T}{M}}$$

Donde;

Ma: Relación de Mach

$\gamma$ : Coeficiente de dilatación adiabática, 1,4 a 20 °C

R: Constante universal de los gases  $8,314 \frac{kg * m^2}{mol * K * S^2}$

T: temperatura de operación (K), 298,15 K en Bogotá

M: Masa molar del gas 0,029 kg/mol

$$\text{velocidad del sonido} = \sqrt{\frac{1,4 * 8,314 \frac{kg * m^2}{mol * K * S^2} * 298,15 K}{0,029 \frac{kg}{mol}}} = 345,93 \frac{m}{s}$$

$$\text{velocidad de operación} < 0,3 * 345,93 \frac{m}{s} = 103,78 \frac{m}{s}$$

## 1.6 TELEMETRÍA

Telemetría es la transmisión de datos en tiempo real inalámbricamente a un lugar remoto con el fin de monitorear el funcionamiento o alguna clase de procedimiento que se esté realizando. Por ejemplo, se puede vigilar la casa con un sistema de cámaras que transmiten la información a un teléfono celular o en pruebas espaciales se puede monitorear el estado y las condiciones físicas de los astronautas durante la operación y garantizar un buen entorno en su trabajo. La información puede ser emitida directamente de los sensores de medición, pero esta clase de sensores pueden llegar a ser muy costosos; también se pueden conectar los sensores que miden la información a un computador y de ahí ser transmitido a un observador lejano mediante una red informática o un enlace óptico<sup>13</sup>.

<sup>12</sup> UNIVERSIDAD DE OVIEDO. Prácticas de laboratorio Capa límite. Oviedo: Universidad de Oviedo Área de Mecánica de Fluidos, 2009. 7 p.

<sup>13</sup> BARCULO, Diana; DANIELS, Julia. Telemetry. New York: Nova Science Publishers, 2009. 239 p.

Es importante la implementación de la telemetría debido a que la universidad podrá ofrecer el servicio de túnel de viento y las entidades que soliciten el servicio podrán monitorear en tiempo real las pruebas desde sus instalaciones ya sea a nivel local o nacional evitando el desplazamiento de personal al sitio de prueba.

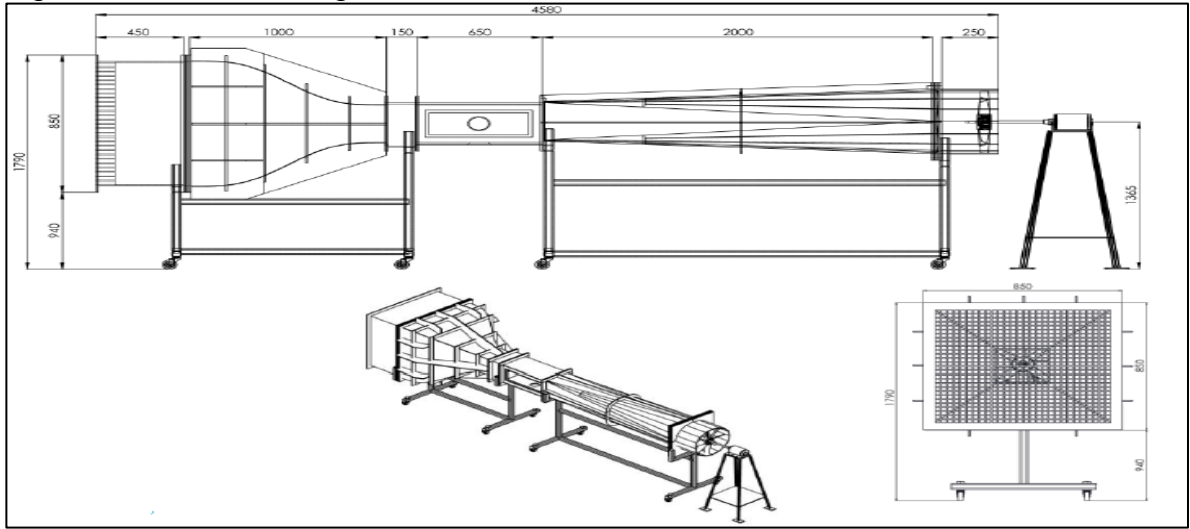
## 2. CARACTERIZACIÓN DE LOS TÚNELES DE VIENTO ENFOCADOS A AERODINÁMICA Y ARQUITECTURA

### 2.1 TÚNELES DE VIENTO ENFOCADOS A LA AERODINÁMICA

2.1.1 Túnel de viento de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Características de diseño:

- ✓ Ubicación: Bogotá
- ✓ Túnel de viento abierto a succión
- ✓ Cámara de pruebas semi-ortogonal con luces led rojas a lo largo de la cámara instaladas en los ángulos de la sección de la cámara de pruebas. orificios debajo y a un lado de la cámara de pruebas para instalar modelos a estudiar
- ✓ Secciones de estabilización de flujo antes y después del contructor
- ✓ Velocidad: 20 m/s
- ✓ Aplicaciones: Se mantiene condiciones de similitud con modelos de área frontal menor al 7,5 % de la sección de la cámara de pruebas
- ✓ Sistema de generación de flujo: Motor Siemens 2CC2 504-5YB6, 0,66 kW, 1.800 RPM
- ✓ Variador de frecuencia: Siemens MICROMASTER 420
- ✓ Hélice: QSTYLE con marco de fibra de vidrio con alabes de paso variable
- ✓ Materiales: A excepción de la estructura soporte del túnel y la sección de potencia, el túnel este hecho de madera
- ✓ Instrumentación: Anemómetro tubo Pitot y manómetro diferencial
- ✓ Costo del proyecto 3´800.000 en el año 2.014

Figura 1. Dimensiones generales



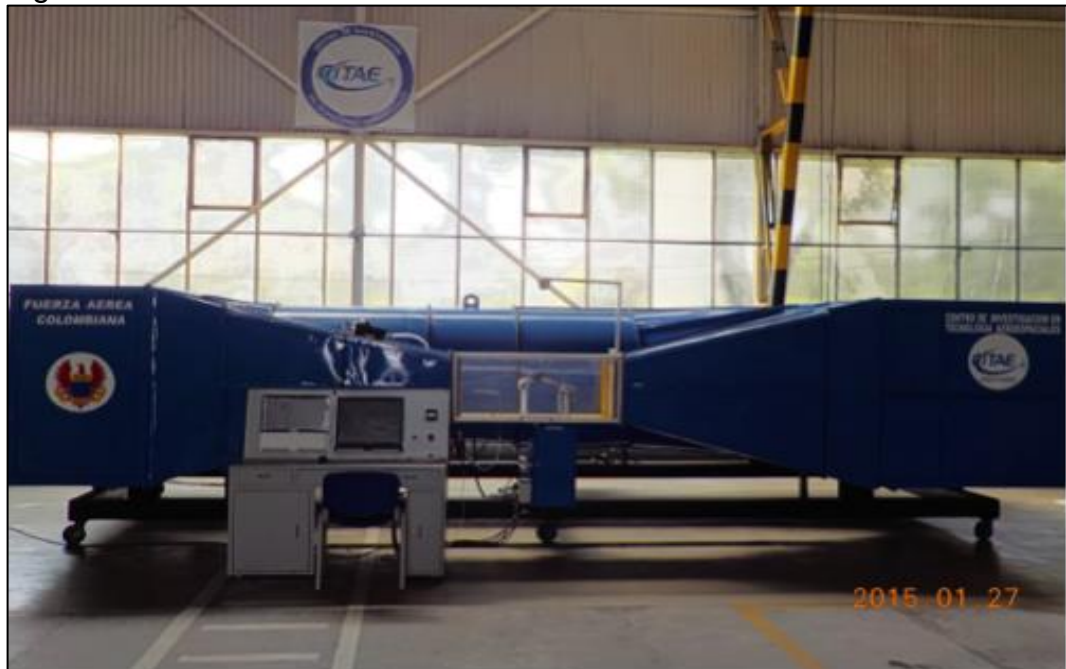
Fuente. ARANGO DUQUE, Alejandro y YEPES MURILLO, Johanna Marcerla. Diseño, construcción y puesta en funcionamiento del túnel de viento subsónico de circuito abierto de la universidad nacional de Colombia sede Bogotá con implementación de sistemas de toma de datos de aire y visualización de flujo. Fundación Universidad Los Libertadores, 2014. p. 170.

2.1.2 Túnel de viento de la Fuerza Aérea Colombiana. Este túnel está construido en el CITAE hoy en día DIDIN en la Escuela Militar de Aviación (EMAVI), ubicada en Cali, Colombia. Los parámetros del túnel son:

- ✓ El túnel es de ciclo cerrado
- ✓ La longitud del conducto más largo del túnel: 7,60 m
- ✓ La longitud de cada uno de los conductos cortos: 3,40 m
- ✓ El área de la cámara de prueba: 0,515 m x 0,505 m
- ✓ La longitud de la cámara de prueba: 116 cm
- ✓ El caudal de aire estimado a través del túnel: 8,5 m<sup>3</sup>/s
- ✓ El factor de contracción en la tobera de convergencia es 7:1
- ✓ El ventilador es axial de 7 palas y diámetro 1,37 m
- ✓ Potencia del motor que acciona el ventilador 15 HP

- ✓ La velocidad del viento es de 0 a 120 km/h o 33,3 m/s, ajustable mediante control de frecuencia variable
- ✓ La sección de trabajo está fabricada en material de acrílico transparente
- ✓ La velocidad del aire en la sección de pruebas se mide mediante un micro sensor de velocidad y opcional puede utilizarse un tubo de Pitot
- ✓ La temperatura del aire en la sección de pruebas se mide mediante una termocupla

Figura 2. Túnel de viento de la FAC



Fuente. FUERZA AEREA COLOMBIANA. Emavi Estrena Túnel De Viento Cerrado Subsónico, Único En Colombia. Enero, Disponible en: <https://www.emavi.edu.co/emavi-estrena-t%C3%Banel-de-viento-cerrado-subs%C3%B3nico-%C3%Banico-en-colombia>

2.1.3 Túnel de viento de la Fundación Universitaria Los Libertadores. Este túnel de viento se encuentra en la ciudad de Bogotá D.C. en la Fundación universitaria Los Libertadores, en el Edificio Bolívar. Datos técnicos;

- ✓ Modelo: M01-15-150M
- ✓ Tipo de túnel: Túnel de viento subsónico de baja velocidad de circuito abierto
- ✓ Dimensiones Sección de prueba

- ✓ Largo: 1,4 m
- ✓ Ancho: 0,6 m
- ✓ Alto: 0,4 m
- ✓ Velocidad máxima: 42 m/s
- ✓ Ventilador: CT365
- ✓ Toma de datos: Data adquisición (DAQ) a PC (LabView)
- ✓ Caudal: 35,33 m<sup>3</sup>/h

#### Dimensiones generales

- ✓ Largo: 9 m
- ✓ Ancho: 1,9 m
- ✓ Alto: 2,3 m
- ✓ Potencia motriz 25 HP
- ✓ RPM Max: 1.700
- ✓ Potencia: 18,65 kW

Figura 3. Túnel de viento Fundación Universitaria Los Libertadores



2.1.4 Túnel de viento Universidad de los Andes. El túnel de la universidad de los andes se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá, en el edificio Mario Laserna de la Universidad De Los Andes. Características de diseño:

- ✓ Túnel de viento TVIM-49-60-1x1
- ✓ Tipo de túnel: Túnel de circuito cerrado y sección cerrada
- ✓ Dimensiones de la sección de pruebas
- ✓ Largo: 2 m
- ✓ Ancho: 1 m
- ✓ Alto: 1 m
- ✓ Potencia motriz: 65 HP
- ✓ Potencia: 48 kW
- ✓ RPM: 1.200
- ✓ Velocidad máxima: 60 m/s (216 km/h)
- ✓ Ventilador: 20 aspas de fibra de vidrio
- ✓ Diámetro ventilador: 1,6 m

## 2.2 TÚNELES DE VIENTO ENFOCADOS A LA ARQUITECTURA

2.2.1 Túnel de viento de la Universidad Politécnica de Madrid. Instituto Universitario De Micro Gravedad “Ignacio Da Riva”<sup>14</sup>. Túnel de viento S4 para calibración de anemómetros. Características de diseño:

- ✓ Corriente: soplada
- ✓ Cámara de ensayo: cerrada
- ✓ Circuito: abierto
- ✓ Aplicación: calibración de anemómetros

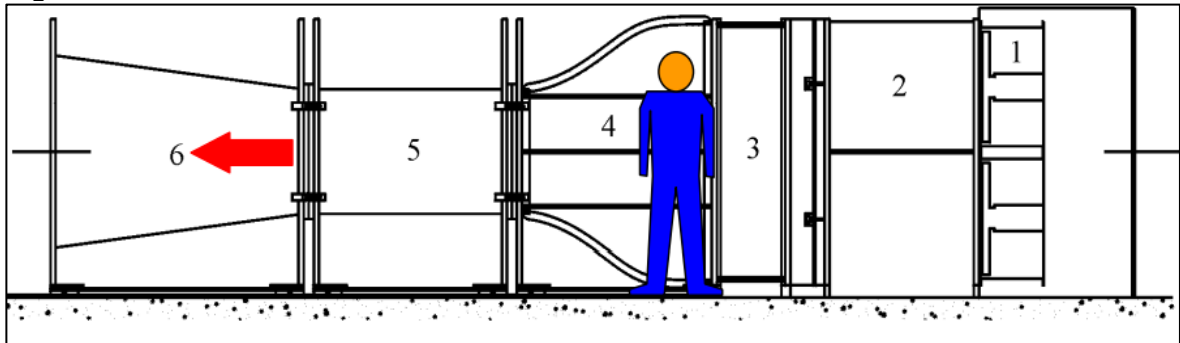
---

<sup>14</sup> MEDENQUER RUIZ, Encarna, et al. Actividades de calibración de anemómetros en la Universidad politécnica de Madrid. En: 8º Congreso Iberoamericano De Ingeniería Mecánica. (23-25 de octubre de 2007). 2007.



- ✓ Sistema de propulsión: 4 ventiladores análogos, potencia nominal de 5,5kW c/u de 8 palas, diámetro de 0,9 m c/u, ubicados en matriz 2x2
- ✓ Contracción: sección cuadrada, entrada de 2 m, salida de 0,9 m. Relación de contracción de 4,9/1, longitud de 1,6 m
- ✓ Cámara de ensayo: sección cuadrada, 0,9m de lado, 2m de longitud
- ✓ Difusor: longitud 1,6m división interna en 16 conductos para disminuir la longitud requerida debido a la limitación del ángulo del difusor
- ✓ Longitud total: 12 m
- ✓ Velocidad: 26 m/s

Figura 4. Túnel de viento de calibración S4



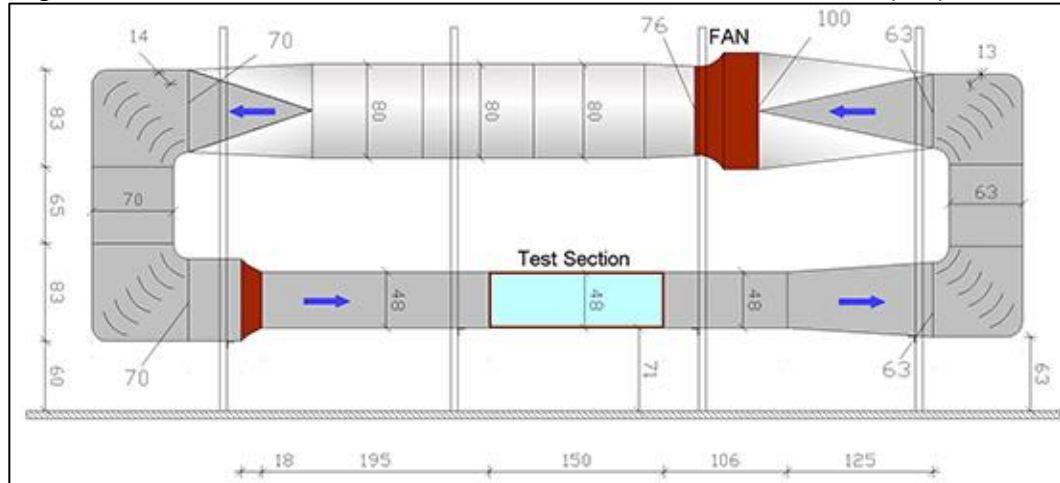
Fuente. MEDENQUER RUIZ, Encarna, et al. Actividades de calibración de anemómetros en la Universidad politécnica de Madrid. En: 8º congreso iberoamericano de ingeniería mecánica. (23-25 de octubre de 2007). 2007.

### 2.2.2 Túnel de viento Universidad Técnica De Dinamarca. Características de diseño<sup>15</sup>:

- ✓ Circuito: cerrado
- ✓ Aplicación: Simulación de capa límite atmosférica turbulenta
- ✓ Sección de prueba: 0,47 X 0,47 m
- ✓ Longitud de cámara de prueba: 1,5 m
- ✓ Velocidad máxima: 38 m/s

<sup>15</sup> KOSS, Holger. Research; Educational Wind Tunnel. Mayo,. Disponible en: [http://www.windengineering.byg.dtu.dk/research/research\\_and\\_educational\\_wind\\_tunnel](http://www.windengineering.byg.dtu.dk/research/research_and_educational_wind_tunnel)

Figura 5. Túnel de Viento Universidad Técnica de Dinamarca (cm)



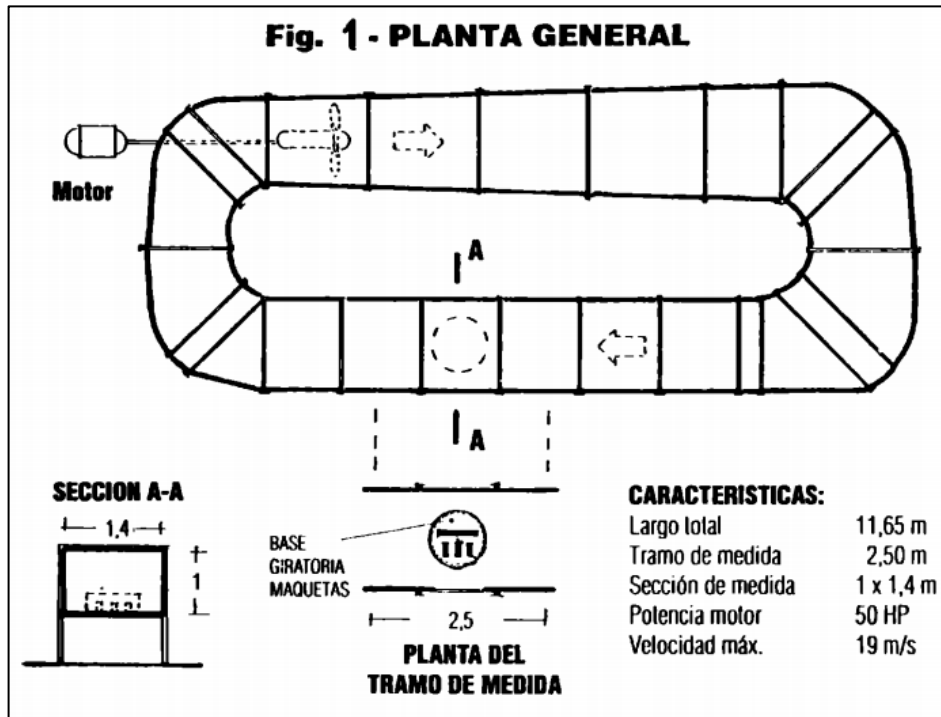
Fuente. KOSS, Holger. Research; Educational Wind Tunnel. Mayo., Disponible en: [http://www.windengineering.byg.dtu.dk/research/research\\_and\\_educational\\_wind\\_tunnel](http://www.windengineering.byg.dtu.dk/research/research_and_educational_wind_tunnel)

### 2.2.3 Túnel de viento facultad de Ingeniería Universidad Nacional de La Plata. Características de diseño<sup>16</sup>:

- ✓ Sistema: cerrado
- ✓ Aplicación: Simulación de capa límite atmosférica
- ✓ Relación longitud altura: 7,2:1
- ✓ Panel de abeja: Tubos plásticos de 2" de diámetros, 12" de longitud
- ✓ Panel de abeja: 1,4 m ancho, 1 m alto, 7,2 m longitud
- ✓ Sistema de propulsión: motor eléctrico de 50 HP
- ✓ Sección de trabajo: Alabes horizontales para generación de turbulencia, separados 7 cm entre sí y 20 cm de altura
- ✓ Velocidad Max: 19 m/s

<sup>16</sup> BOLDES, Ufilas, et al. Descripción y caracterización del túnel de viento de la Facultad de Ingeniería (UNLP). En: LINTA. p. 63-69

Figura 6. Túnel de Viento Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de La Plata



Fuente. BOLDES, Ufilas, et al. Descripción y caracterización del túnel de viento de la Facultad de Ingeniería (UNLP). En: LINTA. p. 63-69

### 2.3 COMPARACIÓN ENTRE LOS TÚNELES DE VIENTO SELECCIONADOS

Se realiza una comparación entre los parámetros técnicos de cada túnel de viento analizado la cual se muestra en el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Comparación entre los túneles de viento**

Túnel	Aplicación	Tipo de sistema	Ancho de la cámara de prueba	Largo de la cámara de prueba	Alto de la cámara de prueba	Velocidad máxima	Potencia del motor eléctrico
Túnel de viento de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá	Aerodinámica	Abierto	0,3 m	0,65 m	0,6 m	20 m/s	0,8 HP
Túnel de viento de la Fuerza Aérea Colombiana	Aerodinámica	Cerrado	0,515 m	1,16 m	0,505 m	33,3 m/s	15 HP
Túnel de viento de la Fundación Universitaria Los Libertadores	Aerodinámica	Abierto	0,6 m	1,4 m	0,4 m	42 m/s	25 HP
Túnel de viento Universidad de los Andes	Aerodinámica	Cerrado	1 m	2 m	1 m	60 m/s	65 HP
Túnel de viento de la Universidad Politécnica de Madrid	Calibración de anemómetros	Abierto en recinto cerrado	0,9 m	2 m	0,9 m	26 m/s	4x 7,37 HP
Túnel de viento Universidad Técnica de Dinamarca	Simulación de capa límite atmosférica	Cerrado	0,47 m	1,5 m	0,47 m	38 m/s	-----
Túnel de viento Universidad Nacional de La Plata	Simulación de capa límite atmosférica	Cerrado	1 m	2,5 m	1,4 m	19 m/s	50 HP

### 3. PARÁMETROS DE DISEÑO

#### 3.1 REQUERIMIENTOS Y LIMITANTES PARA EL DISEÑO DEL TÚNEL DE VIENTO

3.1.1 Tamaño Cámara de prueba. Se define con base en la caracterización de los túneles de viento consultados por los autores para dar un referente del tamaño del equipo entre 0,3 m a 1,7 m de ancho o alto de la sección transversal de la cámara.

3.1.2 Velocidad del fluido en la cámara de prueba. Se define con base en la velocidad requerida para prueba de aerogeneradores de baja potencia la cual tiene un rango de 5 m/s a 15 m/s<sup>17</sup> mínimo.

3.1.3 Requerimientos de la Facultad de Arquitectura. Para este proyecto se recomienda un tamaño de cámara de prueba de 1m x 1m de sección transversal y 1,2m de longitud para dar cubrimiento a los diseños de arquitectura.

3.1.4 Requerimientos del Programa de Ingeniería Mecánica. Se requiere dar cubrimiento a los modelos de aerogeneradores de baja potencia y estructuras de ingeniería mecánica, al igual que a perfiles estructurales y diferentes modelos que permitan el desarrollo de nuevos trabajos por parte de los estudiantes y docentes investigadores. Este estudio requiere de un flujo laminar para los aerogeneradores de baja potencia y una velocidad de 30 m/s para el comportamiento a escala de las estructuras.

#### 3.2 ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Para definir la alternativa de diseño se realiza la comparación entre los tipos de túneles presentados, analizando sus ventajas y desventajas y estableciendo calificaciones a cada uno para seleccionar la opción más viable según los parámetros establecidos.

En el Cuadro 3, se comparan las ventajas y desventajas que presentan los túneles de viento de circuito abierto y cerrado. Estas se ven fundamentadas en la aplicación que se requiera y el uso al que se someta el equipo.

---

<sup>17</sup> FRIAS TARON, Ulises Javier. Diseño De Un Banco Experimental Para Caracterización De Aerogeneradores De Baja Potencia. Bucaramanga.: Universidad Industrial De Santander, 2011. P. 202.

Cuadro 3. Ventajas y desventajas

Circuito	Ventaja	Desventaja
Cerrado	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La calidad del flujo de aire puede ser controlada sin ser afectada por otras actividades del sitio.</li> <li>✓ Se requiere menos energía para un tamaño de túnel y velocidad de prueba dado.</li> <li>✓ El nivel de ruido es menor<sup>18</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ El costo inicial es mayor debido a los conductos de retorno y paletas en las esquinas para cambiar la dirección del flujo.</li> <li>✓ Si se trabaja con visualización de humo requiere un sistema de purga.</li> <li>✓ Si el túnel tiene niveles de uso alto requiere de un sistema de enfriamiento<sup>19</sup></li> </ul>
Abierto	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ El costo de construcción suele ser mucho menor</li> <li>✓ No hay problema para realizar pruebas con flujo de humo desde que la entrada y salida estén abiertos a la atmosfera</li> <li>✓ No hay problema en la utilización de motores de combustión interna <sup>20</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se requiere un tamizado extensivo en la entrada para lograr un flujo de alta calidad.</li> <li>✓ Dependiendo del tamaño y velocidad el consumo energético será mayor para su funcionamiento.</li> <li>✓ Tienden a tener niveles de ruido elevados y esto puede llegar a limitar su tiempo de operación<sup>21</sup></li> </ul>

En el Cuadro 4, se evalúan algunos parámetros de acuerdo con el objetivo, para la selección de la mejor alternativa de diseño. Esta calificación se plantea de 0 a 2, donde 2 es bueno, 1 es medio y 0 es bajo y es evaluada para túneles del mismo tamaño de sección transversal de cámara de prueba y velocidad constante. De igual forma se evalúa la alternativa de túnel abierto en recinto cerrado, que permita la recirculación del viento con el fin de disminuir costos de operación, pero con aberturas en la entrada y la salida del recinto túnel que se pueden cerrar o abrir dependiendo la configuración a trabajar en caso que se necesite hacer pruebas con humo o trabajar el túnel abierto a la atmosfera para la admisión y expulsión de aire.

<sup>18</sup> BARLOW, Jewel; POPE, Alan y RAE, William. Low-speed wind tunnel testing. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, inc 1999.

<sup>19</sup> Ibid., p 27

<sup>20</sup> Ibid., p 27

<sup>21</sup> Ibid., p 27

Cuadro 4. Calificación de los tipos de túneles de viento

Parámetro	Abierto	Cerrado	Abierto en recinto cerrado
Pruebas con humo	2	0	2
Bajo costo de operación	2	1	2
Bajo costo de construcción	2	0	1
Bajo nivel de ruido producido	0	2	2
Poco espacio requerido para instalación y funcionamiento	2	1	1
Utilidad para investigación	2	2	2
Alto control en las variables del viento	0	2	2
Bajo costo de mantenimiento	2	0	2
Total	12	8	14

La alternativa con el puntaje más alto es la propuesta por los autores, que combina las ventajas de los túneles de circuito abierto y cerrado, en un túnel de circuito abierto al interior de un recinto cerrado para la recirculación del aire.

Teniendo en cuenta la selección de tipo de túnel, en el Cuadro 5, se establece una comparación entre un túnel de viento promedio, basado en las dimensiones y velocidades de los túneles seleccionados y caracterizados y un túnel propuesto para la Fundación Universidad de América que cumple con las limitaciones expresadas al inicio del presente capítulo.

Cuadro 5. Comparación entre un túnel de viento promedio frente a uno propuesto

Parámetro	Túnel de viento promedio	Túnel de viento propuesto
Aplicación	Aerodinámica	Aerodinámica
Tipo de sistema	Abierto	Abierto en recinto cerrado
Ancho de la cámara de prueba	0,7 m	1 m
Largo de la cámara de prueba	1,6 m	1,2 m
Alto de la cámara de prueba	0,75 m	1 m
Velocidad máxima	34 m/s	30 m/s

El túnel propuesto para la Fundación Universidad de América se encuentra por encima del túnel promedio, resultado del análisis de los túneles caracterizados en el capítulo anterior, pero presenta una velocidad máxima más baja que puede repercutir en la limitación de las pruebas a realizar.

Para verificar como se encuentra el túnel propuesto para la Universidad de América, se realiza una comparación entre los parámetros técnicos de cada túnel de viento caracterizado, la cual se muestra en el Cuadro 6.

**Cuadro 6. Comparación entre los túneles de viento caracterizados y el propuesto**

Túnel	Aplicación	Tipo de sistema	Ancho de la cámara de prueba	Largo de la cámara de prueba	Alto de la cámara de prueba	Velocidad máxima	Potencia del motor eléctrico
Túnel de viento de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá	Aerodinámica	Abierto	0,3 m	0,65 m	0,6 m	20 m/s	0,8 HP
Túnel de viento de la Fuerza Aérea Colombiana	Aerodinámica	Cerrado	0,515 m	1,16 m	0,505 m	33,3 m/s	15 HP
Túnel de viento de la Fundación Universitaria Los Libertadores	Aerodinámica	Abierto	0,6 m	1,4 m	0,4 m	42 m/s	25 HP
Túnel de viento Universidad de los Andes	Aerodinámica	Cerrado	1 m	2 m	1 m	60 m/s	65 HP
Túnel de viento de la Universidad Politécnica de Madrid	Calibración de anemómetros	Abierto en recinto cerrado	0,9 m	2 m	0,9 m	26 m/s	4x 7,37 HP
Túnel de viento Universidad Técnica de Dinamarca	Simulación de capa límite atmosférica	Cerrado	0,47 m	1,5 m	0,47 m	38 m/s	-----
Túnel de viento Universidad Nacional de La Plata	Simulación de capa límite atmosférica	Cerrado	1 m	2,5 m	1,4 m	19 m/s	50 HP
Túnel de viento propuesto para la Fundación Universidad de América	Aerodinámica	Abierto en recinto cerrado	1 m	1,2 m	1 m	30 m/s	-----

### 3.3 CONDICIONES CLIMÁTICAS DE BOGOTÁ

La ciudad de Santa Fe de Bogotá D.C. se encuentra ubicada a una altura de 2630 metros sobre el nivel del mar; las condiciones atmosféricas son<sup>22</sup>;

- ✓ Temperatura media anual 14 °C
- ✓ Temperatura máxima media anual 19,9 °C
- ✓ Temperatura mínima media anual 8,2°C

<sup>22</sup> AERONAUTICA CIVIL., Time-Series For Skbo Bogotá/ El Dorado: 2547m. Disponible en: <http://Meteorologia.Aerocivil.Gov.Co/Meteogram/Index?lcao=Skbo>



- ✓ Presión atmosférica equivalente a 101.592 Pa (10.359,5 mmH<sub>2</sub>O, 30,00 inHg)
- ✓ Humedad relativa media anual 72%
- ✓ Densidad del aire 0,95 kg/m<sup>3</sup>.

## 4. DISEÑO DE INGENIERÍA BÁSICA

Los cálculos, tamaños, mediciones y pérdidas se trabajaron para las condiciones de diseño definidas en la sección 3.1; los resultados se presentan a continuación.

### 4.1 PÉRDIDAS TOTALES DEL SISTEMA

Las secciones del panel de abeja, de las mallas, del contractor y del difusor, se calculan con la ecuación de longitud equivalente<sup>23</sup>.

$$h_L = K * \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde;

$h_L$ : Longitud equivalente

$K$ : Factor de pérdidas que dependen de cada sección

$V$ : Velocidad

$g$ : Aceleración de la gravedad

4.1.1 Sección de estabilización de flujo. Se divide en dos clases: el panel de abeja y las mallas.

4.1.1.1 Panel de abeja. Esta sección debe tener una longitud de la celda entre 6 y 8 veces su diámetro hidráulico y 150 celdas por el diámetro de la cámara de estabilización, es decir, la cantidad de celdas del panel de abeja debe ser mayor a 22.500 celdas<sup>24</sup>. Se utilizarán celdas cuadradas ya que son más económicas y con mayor disponibilidad en Bogotá.

Las pérdidas generadas en esta zona dependen de las dimensiones del material utilizado en la malla, la porosidad y el número de Reynolds de la celda<sup>25</sup>, la siguientes formulas del libro Low-speed wind tunnel testing de BARLOW<sup>26</sup> expresan las perdidas en el panel de abejas;

---

<sup>23</sup> CENGEL, Yunus y CIMBALA, John. Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones Primera Edición. México: McGraw-Hill, 2006. p 349.

<sup>24</sup>ARANGO DUQUE, Alejandro y YEPES MURILLO, Johanna Marcerla. Diseño, construcción y puesta en funcionamiento del túnel de viento subsónico de circuito abierto de la universidad nacional de Colombia sede Bogotá con implementación de sistemas de toma de datos de aire y visualización de flujo. Fundación Universidad Los Libertadores, 2014. p. 56.

<sup>25</sup> CHICAS MOLINA, Francisco Ernesto. Diseño Y Construcción De Un Túnel De Viento; El Salvador.: Universidad Centroamericana "José Simeon Cañas", 2012. P. 30.

<sup>26</sup> BARLOW, Jewel; POPE, Alan y RAE, William. Low-speed wind tunnel testing. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, inc 1999.

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

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

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

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

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

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

Donde;

$K_h$ : Pérdidas en el panel de abejas

$\lambda_h$ : Coeficiente  $\lambda$

$L_h$ : Longitud de la celda

$D_h$ : Diámetro hidráulico de una celda

$\beta_h$ : Porosidad de la malla

$\Delta$ : Espesor del material de la celda

$Re_{\Delta}$ : Número de Reynolds de la celda

$Re_{D_h}$ : Número de Reynolds del diámetro hidráulico de una celda

El diseño se desarrolla para un panel de abeja con una densidad de 22.500 celdas en la sección y un espesor de material ( $\Delta$ ) de 1 mm. El panel de abeja estará separado a una distancia de 470 mm de acuerdo a las recomendaciones de Tolentino<sup>27</sup>.

<sup>27</sup> TOLENTINO, Rene, *et al.* Modificaciones al túnel de viento del labinthap para mediciones de velocidad de aire desde 5 m/s hasta 30 m/s. México: 2004. 6p.

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

$$\text{Ancho de celda} = \frac{2,64 \text{ m}}{150} - 0,001 \text{ m} = 0,0166 \text{ m}$$

Como se enunció en la sección 4.1.1.1, la celda es cuadrada, por lo tanto, el ancho de celda es el mismo alto, esto para el cálculo del diámetro hidráulico de la celda.

$$D_h = \frac{4 * \text{Area}}{\text{Perimetro}} = \frac{4 * (0,0166 \text{ m})^2}{4 * 0,0166 \text{ m}} = 0,0166 \text{ m}$$

$$L_h = 6 * D_h = 6 * 0,0166 \text{ m} = 0,0998 \text{ m}$$

La velocidad que pasa a través de la malla es la misma que pasa en la entrada del contractor y como se enuncia en la sección 4.2, la relación de contracción es de 7 a 1 es decir, la velocidad en el difusor es la séptima parte de la velocidad en la cámara de prueba que es de 30m/s.

$$\text{Velocidad de la entrada del contractor} = \frac{\text{velocidad de cámara de prueba}}{\text{relación de la contracción}}$$

$$\text{Velocidad de la entrada del contractor} = \frac{30 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{7} = 4,286 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re_{Dh} = \frac{0,95 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,286 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,0166}{0,0000181 \text{ Pa} * \text{s}} = 3742,64$$

$$F = \frac{1}{\left(1,8 * \log\left(\frac{6,9}{3742,64} + \left(\frac{0,001 \text{ m}}{3,7 * 0,0166 \text{ m}}\right)^{1,11}\right)\right)^2} = 0,08418$$

$$Re_{\Delta} = 3742,64 * \frac{0,001 \text{ m}}{0,0166 \text{ m}} * \sqrt{\frac{0,08418}{8}} = 23,0745$$

$$\lambda_h = 0,375 * \left(\frac{0,001 \text{ m}}{0,0166 \text{ m}}\right)^{0,4} * (23,0745)^{0,1} = 0,16667$$

$$B_h = \left(1 - \frac{0,0166}{0,001}\right)^2 = 244,558$$

$$K_h = 0,16667 * \left( \frac{0,0998}{0,0166} + 3 \right) * \left( \frac{1}{244,558} \right)^2 + \left( \frac{1}{244,558} - 1 \right)^2 = 0,992$$

$$h_h = 0,992 * \frac{4,286 \frac{m}{s^2}}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,9285 m$$

4.1.1.2 Malla. La porosidad ( $\beta_m$ ), que es la fracción de la sección que no tiene material, debe estar entre 0,5 y 0,8 para que cumpla la función de estabilización dentro del túnel de viento, también se recomienda de 3 a 7 mallas<sup>28</sup> separadas aproximadamente 500 veces el tamaño del diámetro del alambre de la malla ( $d_w$ ) con el fin de reducir el nivel de turbulencia y minimizar efectos de capa límite, la separación de la última malla al contractor debe ser al menos 0,2 veces el ancho de la malla. Según recomendación de Tolentino, para túneles abiertos no se recomienda un arreglo con más de 3 mallas<sup>29</sup>.

Para calcular las pérdidas por la malla estabilizadora se aplica la siguiente ecuación expresada en el libro Low-speed wind tunnel testing de BARLOW<sup>30</sup>;

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

Donde;

$K_m$ : Pérdidas en la sección de malla

$K_{mesh}$ : Factor de mallado, 1,0 Alambre metálico nuevo, 1,3 Promedio de alambres metálicos circulares y 2,1 Hilo de seda

$K_{Rn}$ : Factor de Número de Reynolds

$\sigma_s$ : Solidez

$\beta_s$ : Porosidad, (Para túneles de viento se utiliza entre 0,5 y 0,8)

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

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

$$\sigma_s = 1 - \beta_s$$

Donde;

$d_w$ : Diámetro del alambre

$\rho_w$ : Densidad de la malla

<sup>28</sup> RESHOTKO, Eli; SARIC, William y NAGIB, Hassan. Flow quality issues for large wind tunnels Read More. 35th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 1997.

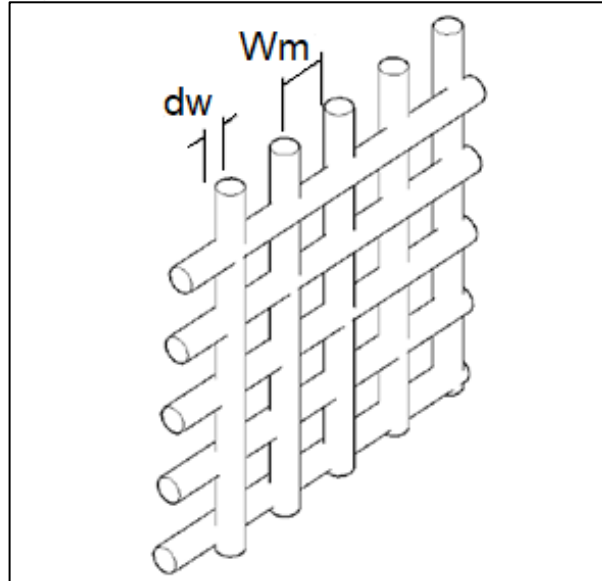
<sup>29</sup> TOLENTINO, Rene, *et al.* Modificaciones al túnel de viento del labinthap para mediciones de velocidad de aire desde 5 m/s hasta 30 m/s. México: 2004. 6p.

<sup>30</sup> Ibid., p. 86.

$W_m$ : Ancho de una celda de mallado

La Figura 7., muestra los factores  $d_w$  y  $W_m$  que se utilizan para el cálculo de la porosidad de la malla.

Figura 7. Nomenclatura de la malla



Fuente. CHICAS MOLINA, Francisco Ernesto. Diseño Y Construcción De Un Túnel De Viento; El Salvador.: Universidad Centroamericana “José Simeon Cañas”, 2012. P. 170.

El factor  $K_{Rn}$  toma valores dependiendo el número de Reynolds en el alambre;

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

$$K_{Rn} = \begin{cases} 0,785 \left( \frac{Re_w}{241} + 1 \right)^{-4} + 1,01; & \text{Para } 0 \leq Re_w \leq 400 \\ 1; & \text{Para } Re_w \geq 400 \end{cases}$$

Donde;

$Re_w$ : Número de Reynolds de la malla

Se plantea un arreglo de tres mallas con un diámetro de alambre  $d_w$  de 1 mm y un ancho de celda  $W_m$  de 5 mm separadas 500 mm entre sí, colocadas en una sección

de estabilización de flujo que se ubica antes de la zona de contracción. Entre la última malla y el contractor hay una distancia de 470 mm de acuerdo a las recomendaciones de Tolentino<sup>31</sup>.

$$Re_w = \frac{0,95 \frac{kg}{m^3} * 0,001 m * 4,286 \frac{m}{s}}{0,0000181 Pa * s} = 224,94$$

$$K_{Rn} = 0,785 * \left( \frac{224,94}{241} + 1 \right)^{-4} + 1,01 = 1,0662$$

$$\beta_s = \left( 1 - \frac{0,001 m}{0,005 m} \right)^2 = 0,64$$

$$\sigma_s = 1 - 0,64 = 0,36$$

$$K_m = 1 + 1,0662 * 0,36 + \frac{0,36}{(0,64)^2} = 1,2627$$

$$H_m = (3 * 1,2627) * \frac{4,286 \frac{m}{s^2}}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 3,5463 m$$

4.1.2 Zona de contracción. Las pérdidas en el cono de contracción son complejas debido a que este es diseñado empíricamente buscando una curva suave para la contracción del aire tomando como referencia otros diseños en túneles de viento que han salido exitosos. Se asume el contractor como una entrada de tubería suavizada con un r/D mayor a 0.2. Con este parámetro, el coeficiente de pérdidas es de 0.03<sup>32</sup>.

$$h_c = 0,03 * \frac{30 \frac{m}{s^2}}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 1,3761 m$$

4.1.3 Sección de prueba. Para esta parte del túnel se presenta la ecuación de pérdidas de energía de Darcy-Weisbach, aplicable a tuberías y canales de sección transversal cualquiera;

<sup>31</sup> TOLENTINO, Rene, *et al.* Modificaciones al túnel de viento del labinthap para mediciones de velocidad de aire desde 5 m/s hasta 30 m/s. México: 2004. 6p.

<sup>32</sup> CENEL, Yunus. Mecánica de Fluidos fundamentos y aplicaciones. 1 ed. McGraw Hill. México. 2006., p 350.

$$h_L = f * \frac{L}{4 * R_h} * \frac{v^2}{2g}$$

Donde;

$h_L$ : Pérdida de energía debido a la fricción

$f$ : Factor de fricción

$L$ : Longitud

$R_h$ : Radio hidráulico

$v$ : Velocidad media del flujo

$g$ : Aceleración de la gravedad

Ecuación de radio hidráulico;

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{\pi D_h^2}{4\pi D_h}$$

$$D_h = 4R_h$$

Donde;

$D_h$ : Diámetro hidráulico

$A$ : Sección transversal mojada

$P$ : Perímetro mojado

Y el diámetro hidráulico para una sección rectangular es;

$$D_h = \frac{2bh}{b + h}$$

Donde;

$b$ : Base de la sección de pruebas

$h$ : Altura de la sección de pruebas

Como el factor de fricción depende de Reynolds, para un régimen turbulento en tuberías lisas con  $Re > 100.000$ , Kármán y Prandtl dedujeron la primera ecuación de Kármán-Prandtl siguiente ecuación para un fluido incompresible<sup>33</sup>;

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \cdot \text{Log}_{10}(Re \sqrt{f}) - 0,8$$

---

<sup>33</sup> MATAIX, Claudio. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. 2 ed. Madrid. Ed castillo S.A. 1993. 660 p



Despejando el factor  $f$ ,

$$f = (2 * \log(Re * \sqrt{f}) - 0,8)^{-2}$$

Donde;

$Re$ : Número de Reynolds.

Se aplican los parámetros de diseño establecidos en la sección 3, es decir, tamaño de cámara de 1 m x 1 m x 1,2 m y velocidad de flujo de 30 m/s.

$$Re = \frac{0,95 \frac{kg}{m^3} * 1 m * 30 \frac{m}{s}}{0,0000181 Pa * s} = 1.574.585,6$$

Se inicia iteraciones con  $f = 0,5$ .

$$f = (2 * \log(Re * \sqrt{0,5}) - 0,8)^2 = 0,00784$$

Ahora se continúa la iteración con el nuevo valor de 0,00784 y se repite la operación varias veces, en este caso fueron necesarias hasta que el valor converja. En este caso se realizaron 8 iteraciones y se obtuvo un valor de 0,010789195.

$$D_H = \frac{4 * A}{P} = \frac{4 * 1 m * 1 m}{4 * 1 m} = 1 m$$

$$h_L = 0,010789 * \frac{1,2 m}{1 m} * \frac{30 \frac{m}{s}}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,5939 m$$

Como se indicó en la Sección 1.4., el flujo laminar se da con un valor de Reynolds menor a 2000 pero como se muestra en la cámara de prueba este valor es de  $1.6 \times 10^6$ , es decir, de régimen turbulento. Para el caso del túnel de viento, este parámetro no puede ser tenido en cuenta debido a que el túnel tiene en sus componentes una sección encargada de enderezar y linealizar el flujo de aire y volverlo laminar.

4.1.4 Difusor. El difusor es una expansión gradual de la tubería con un ángulo de difusión. Se calcula el coeficiente de pérdidas con la ecuación de pérdidas por conos

de contracción<sup>34</sup>, esta fórmula se encuentra expresada en el libro Low-speed wind tunnel testing de BARLOW<sup>35</sup>;

$$K_d = m * \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2\right)^2$$

Donde;

$K_d$ : Pérdidas en el difusor

$m$ : Coeficiente del ángulo de difusión

$d$ : Diámetro de entrada del difusor

$D$ : Diámetro de salida del difusor

El coeficiente  $m$  se selecciona de acuerdo al ángulo del difusor que se encuentra en el Cuadro 7.

Cuadro 7 Coeficiente  $m$  en relación al ángulo

Angulo °	2,5	5	7,5	10	15	20	25	30
$m$	0,18	0,13	0,14	0,16	0,27	0,43	0,62	0,81

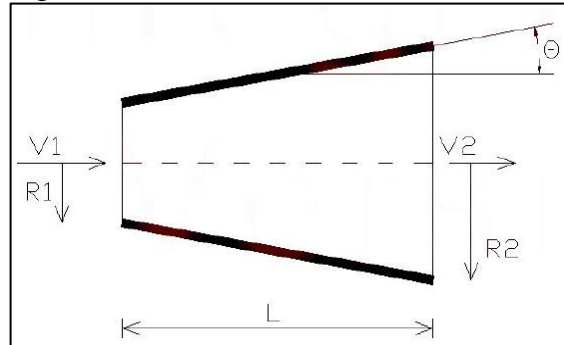
Fuente. MATAIX, Claudio, Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, segunda edición, Madrid. Ed castillo S.A. 1993. p 239.

En la Figura 8., se ilustra el difusor de salida de viento, al cual le ingresa aire por la sección de menor radio  $R_1$  con una velocidad alta proveniente de la salida de la cámara de prueba  $V_1$  y hace una disminución de esta por medio de un ángulo  $\theta$  el cual aumenta el radio de salida  $R_2$  del difusor y expulsa el viento una velocidad  $V_2$  menor que con la que entro.

<sup>34</sup> Ibid., p 239.

<sup>35</sup> BARLOW, Jewel; POPE, Alan y RAE, William. Low-speed wind tunnel testing. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, inc 1999. p 82.

Figura 8. Difusor de salida de viento



Fuente. BARLOW, Jewel; POPE, Alan y RAE, William. Low-speed wind tunnel testing. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, inc 1999.

Se recomienda un ángulo de difusión no mayor a  $7^\circ$  y razones de área  $R_a$  entre 2,5 y 6. Se toma un ángulo de  $5^\circ$  ya que este está dentro del límite establecido, dando como resultado un dimensionamiento moderado del túnel sin afectar el comportamiento interno del flujo y utilizando una razón de área de 3 a 1, con las condiciones mencionadas se obtienen las siguientes dimensiones.

Diámetro de entrada equivalente al diámetro hidráulico de la cámara de pruebas 1 m,

$$1m^2 * 3 = 3m^2$$

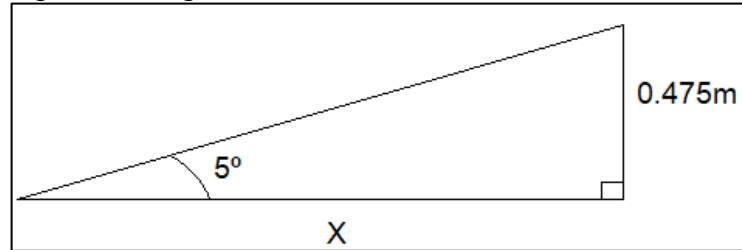
$$A_{salida} = \pi * r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A_{salida}}{\pi}} = \sqrt{\frac{3m^2}{\pi}} = 0.9977m$$

$$Diametro = 1.95m$$

En la Figura 9., se ilustra el ángulo del difusor y el tamaño del cateto opuesto el cual se determinó al restar 1 m al diámetro de 1.95 m y dividir el resultado en dos para tener el valor del cateto formado por el triángulo.

Figura 9. Ángulo del difusor



$$\tan 5^\circ = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Cateto adyacente}}$$

$$\text{Cateto adyacente} = \frac{0.475\text{m}}{\tan 5^\circ} = 5.45\text{m}$$

Diámetro de salida de 1,95 m y una longitud total de 5,45 m. Además, el coeficiente  $K_d$  es 0,13 para un ángulo de difusión de  $5^\circ$ .

$$K_d = 0,13 * \left( 1 - \left( \frac{1\text{ m}}{1,95\text{ m}} \right)^2 \right)^2 = 0,07084$$

$$h_d = 0,07084 * \frac{30 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 3,2496\text{ m}$$

4.1.5 Modelo. El objeto a estudiar en la cámara de pruebas también genera una obstrucción al flujo y su coeficiente de pérdidas se puede hallar con la siguiente fórmula<sup>36</sup>;

$$K_{\text{modelo}} = \frac{2D}{\rho * V_f^2 * A_f}$$

$$D = \frac{1}{2} * \rho * V_f^2 * C_D * A_D$$

Reemplazando la fuerza de arrastre se obtiene;

$$K_{\text{modelo}} = \frac{C_D * A_D}{A} = \frac{C_D * D_{HD}^2}{D_H^2}$$

<sup>36</sup> CHICAS MOLINA, Francisco Ernesto. Diseño Y Construcción De Un Túnel De Viento; El Salvador.: Universidad Centroamericana "José Simeon Cañas", 2012. p. 33.

Donde;

$K_{modelo}$ : Pérdidas del modelo a prueba

$V_f$ : Velocidad del flujo en la cámara de pruebas

$D$ : Fuerza de arrastre del modelo

$A_F$ : Sección transversal de la cámara de pruebas

$C_D$ : Coeficiente de arrastre del modelo

$A_D$ : Sección transversal del modelo

Las pérdidas por el modelo se asumieron para un modelo con una sección de 0,7 m de diámetro hidráulico constante, con velocidad máxima de operación y un coeficiente de arrastre de 1,3.

$$K_{modelo} = \frac{1,3 * (0,7 \text{ m})^2}{(1 \text{ m})^2} = 0,5$$

$$h_{modelo} = 0,5 * \frac{30 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 22,9495 \text{ m}$$

Cuadro 8. Pérdidas de presión

Componente	Pérdidas (m)
Mallas	3,54
Panel de abeja	0,93
Contractor	1,38
Cámara de prueba	0,59
Difusor	3,25
Modelo	22,95
Total	32,64

Para hacer las conversiones a pascales empleamos la siguiente formula:

$$P = \rho * g * h$$

Donde;

$P$ : Presión en pascales

$\rho$ : Densidad del aire en  $\text{Kg}/\text{m}^3$

$g$ : Gravedad en  $\text{m}/\text{s}^2$

$h$ : Perdidas en m

$$P = 0,95 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 32,64 \text{ m}$$

$$P = 304,1884 \text{ pa}$$

Estas pérdidas equivalen a 304,1884 Pa o 1,22 inH<sub>2</sub>O calculados con la densidad del aire de Bogotá D.C.

#### 4.2 ZONA DE CONTRACCIÓN

Zona de contracción cuadrada con una sección de salida igual a la sección de entrada de la cámara de prueba. La recomendación para la longitud de la zona de contracción es 1,25 veces el ancho de la entrada del contractor<sup>37</sup> y una relación de contracción entre 6 a 10<sup>38</sup>, para el diseño se determina una relación de 7 a 1.

De acuerdo a estos parámetros se hace el cálculo para determinar las medidas;

Sección de salida del contractar 1m<sup>2</sup> y relación de contracción de 7 a 1

$$1m^2 * 7 = 7m^2$$

$$A_{salida} = lado * lado$$

$$A_{salida} = lado^2$$

$$lado = \sqrt{A_{salida}} = \sqrt{7m^2} = 2.64m$$

$$Largo del contractor = 2.64m$$

El contractor queda con las siguientes medidas: entrada de sección cuadrada con un ancho de 2,64 m, salida de sección cuadrada equivalente al de la cámara de prueba de 1m por cada lado, con una relación de contracción Rc de 7 a 1 y una longitud total de 3,61 m, en la longitud total se incluye una sección de 0,3 m adicionales con el fin de que el flujo se estabilice antes de entrar a la sección de prueba para una longitud total de 3,91 m.

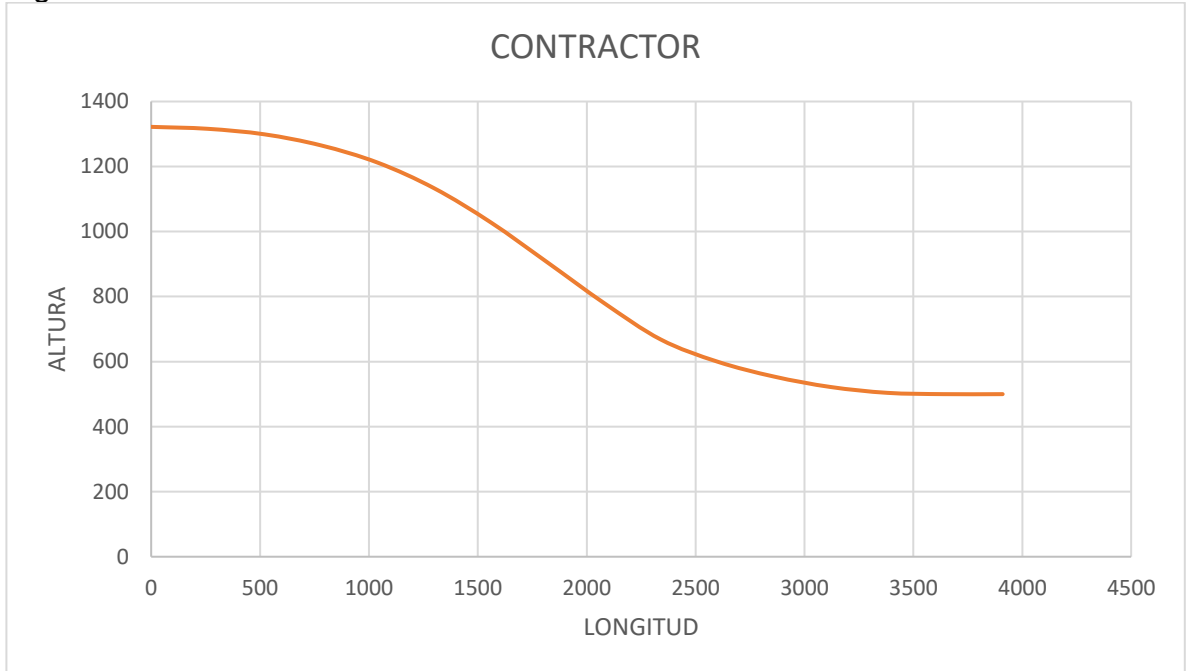
La construcción del contractor se realiza mediante una reducción de área obteniendo una curva de compresión suave que permita que el flujo aumente la velocidad, pero evite el desprendimiento de la capa límite que puede generar turbulencia. Esto con base en los túneles caracterizados en la Sección 2. Con el fin de cumplir lo anteriormente mencionado se propone una curva de contracción que se ilustra en la Figura 10., la cual se construye mediante las condenadas del Cuadro 9., donde la longitud está en el eje coordenado x o eje de las abscisas y la altura en el eje coordenado y o eje de las ordenadas.

---

<sup>37</sup> HINRICHSSEN VERDUGO, Ricardo Nelson. Diseño y construcción de un túnel de viento ultra laminar de velocidad controlada. Universidad De Chile, 2001. p. 80.

<sup>38</sup> BARLOW, Jewel; POPE, Alan y RAE, William. Low-speed wind tunnel testing. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, inc 1999. p 95.

Figura 10. Curva del contractor

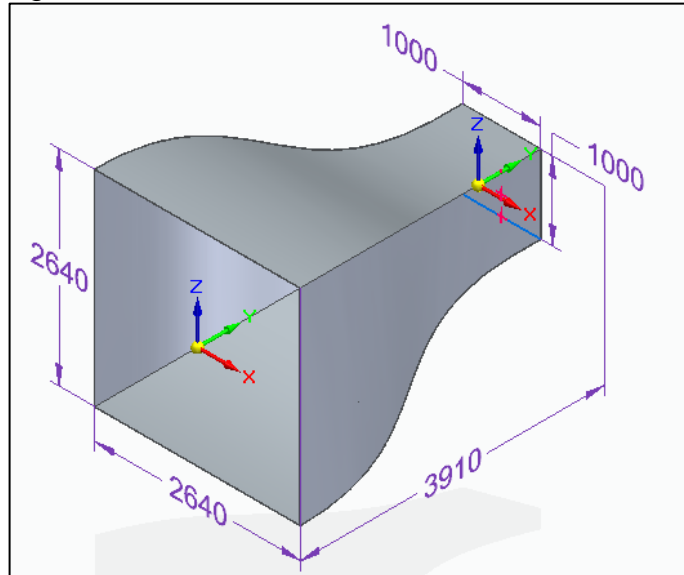


Cuadro 9. Coordenadas del contractor

Longitud (mm)	Altura (mm)
0	1322
260	1316
520	1299
780	1265
1040	1212
1300	1133
1560	1028
1820	905
2080	780
2340	668
2600	600
2860	554
3120	522
3380	504
3640	500
3910	500

La Figura 11., muestra el diseño del contractor con las medidas de la entrada y salida de aire, al igual que la longitud de este en milímetros. Se utilizan las coordenadas del Cuadro 8., para la construcción de la curva de contracción en todas las caras obteniendo la geometría deseada.

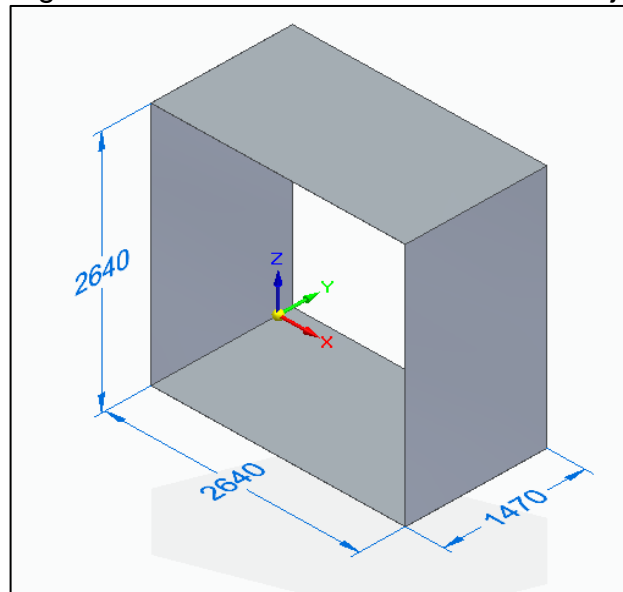
Figura 11. Contractor



#### 4.3 ESTABILIZACIÓN DE FLUJO

La sección de estabilización de flujo se divide en las mallas y el panel de abeja que están dispuestas en una carcasa como se ilustra en la Figura 12., con dimensiones de 2640m x 2640mm x 1470mm.

Figura 12. Sección de estabilización de flujo

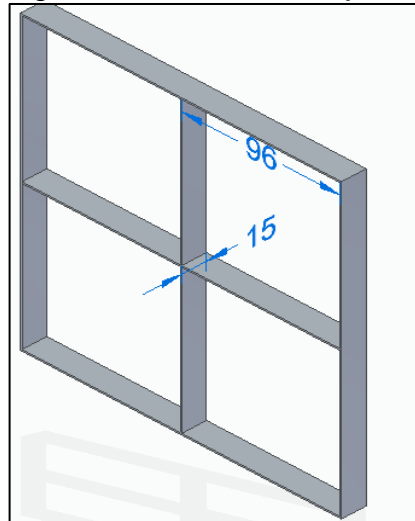


4.3.1 Panel de abeja. El diseño se desarrolla para un panel de abeja con una densidad de 22.500 celdas en la sección, con una longitud de celda de 15 mm y un



espesor de material de 1 mm. La longitud de la celda,  $L_h$  es de 96 mm y de celda cuadrada como se muestra en la Figura 13.

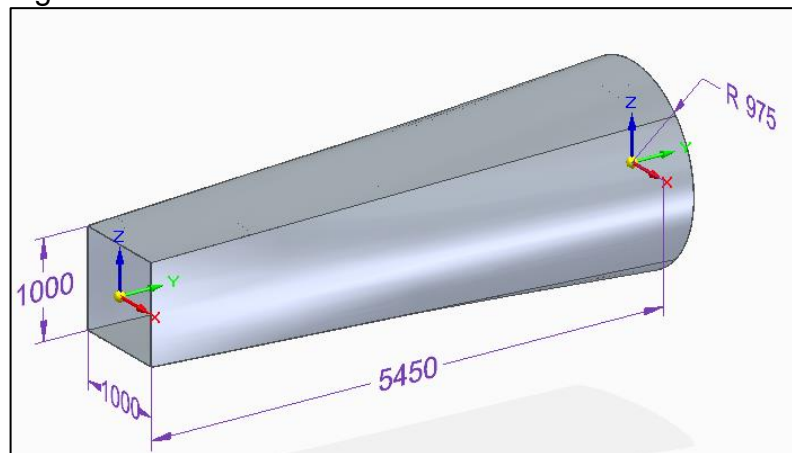
Figura 13. Panel de abeja



#### 4.4 DIFUSOR

Como se estableció anteriormente en la sección 4.1.4, el ángulo del difusor es de  $5^\circ$  y la razón de áreas es de 3 a 1. Con estos parámetros las dimensiones son las siguientes; diámetro de entrada equivalente al diámetro hidráulico de la cámara de pruebas 1 m, diámetro de salida de 1,95 m y una longitud total de 5,45 m. En la Figura 14 se ilustra el difusor con las medidas correspondientes en milímetros.

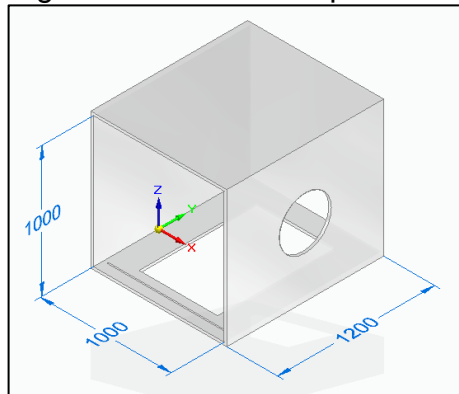
Figura 14. Difusor



#### 4.5 SECCIÓN DE PRUEBA

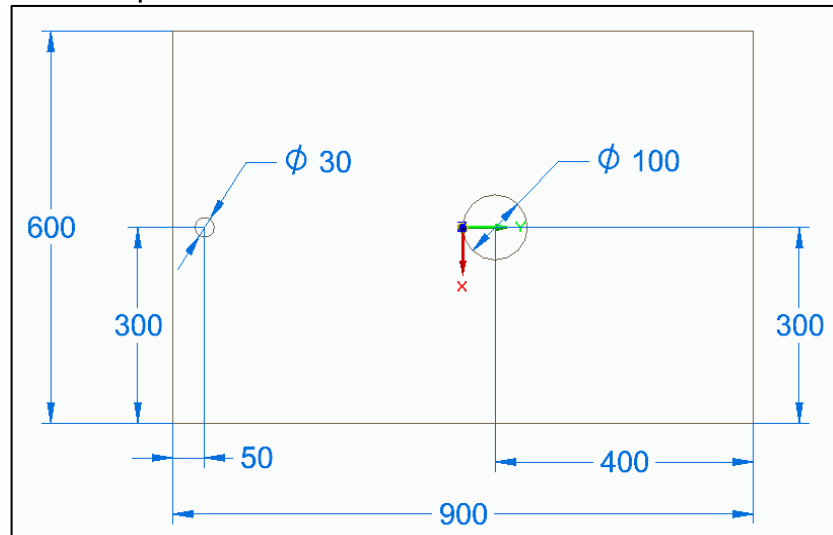
Como se definió en la Sección 3.1.3., las dimensiones para la cámara de prueba son de 1 m x 1 m de sección transversal y una longitud de 1,2 m con un espesor de material de 20 mm.

Figura 15. Sección de prueba



En la parte inferior de la cámara de prueba se encuentra una placa de madera en la cual se instalarán el tubo pitot para mediciones y la balanza aerodinamica para la ubicacion del modelo como se muestra en la Figura 16., de igual forma en una cara lateral del la cámara de prueba se encuentra una abertura circular removible para la manipulacion del modelo y la medición con otros instrumentos, ilustrada en la Figura 15., en la parte inferior, una abertura a lo ancho de la camara que permite introducir el inyector de humo y el movimiento libre de este para las pruebas que lo requieran.

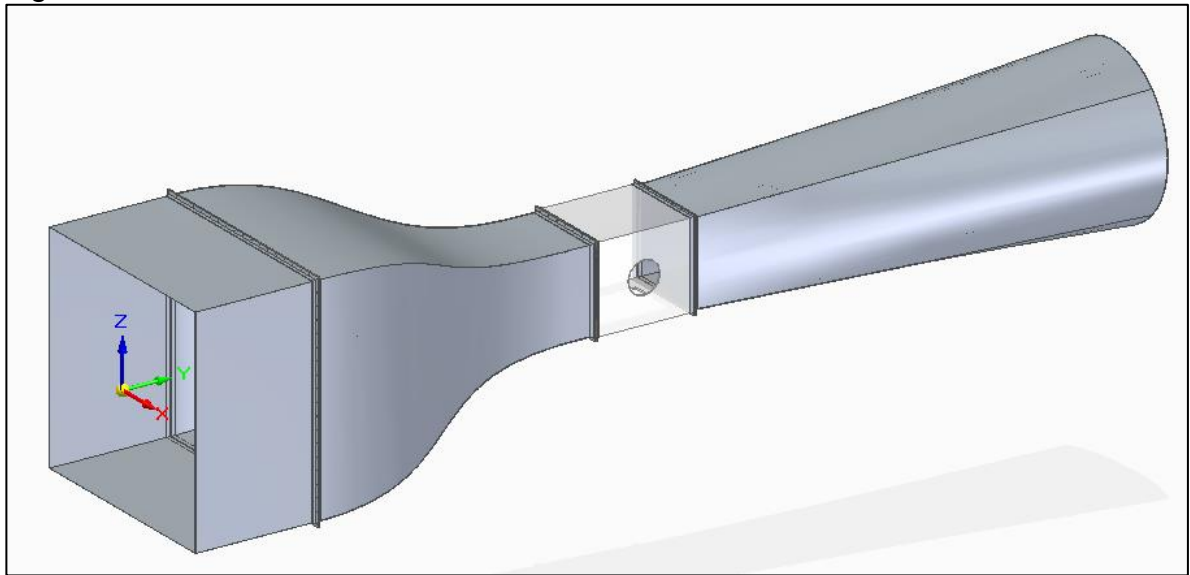
Figura 16. Parte inferior de la cámara de prueba con las medidas para instalación de instrumentos



La sonda Pitot se instala en el agujero de 30 mm de diámetro por medio de un adaptador para sondas Pitot dependiendo el diámetro de esta; en el agujero de 100 mm se instala el modelo acoplado a la balanza aerodinámica por medio de una varilla de acero de 3/8 de pulgada o 9,53 mm de diámetro.

El conjunto del túnel de viento que se muestra en la Figura 17., incluye las secciones antes mencionadas en esta sección que son la zona de estabilización de flujo, el contractor, la cámara de prueba y el difusor.

Figura 17. Túnel de viento ensamblado



#### 4.6 FUERZA DE PROPULSIÓN

Es una forma que se propone en el libro Low-speed wind tunnel testing de BARLOW, para tener idea de las magnitudes involucradas en la potencia requerida por un chorro de aire para un túnel de viento<sup>39</sup>. Esta potencia se calcular por medio de la siguiente fórmula se puede estimar la potencia en función de la sección transversal de la cámara de prueba; este cálculo se realiza con el fin de hacer la comparación con la Figura 18., propuesta en el libro de Barlow<sup>40</sup>, la cual se analiza para condiciones atmosféricas a nivel del mar; para el análisis del túnel del viento propuesto se realiza el cálculo con las condiciones de Bogotá D.C.

$$P_t = \frac{1}{2} * \rho_t * A_t * v_t^3$$

Donde;

<sup>39</sup> BARLOW, Jewel; POPE, Alan y RAE, William. Low-speed wind tunnel testing. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, inc 1999. p 70.

<sup>40</sup> Ibid., p 71.

$P_t$ : Fuerza de propulsión  
 $\rho_t$ : Densidad del aire  
 $A_t$ : Área de sección transversal de la cámara de prueba  
 $v_t$ : Velocidad en la cámara de prueba

$$P_t = \frac{1}{2} * 0,95 \frac{kg}{m^3} * 1 m^2 * \left(30 \frac{m}{s}\right)^3 = 12.825 W = 12,8 kW$$

Luego de calcular el valor de la fuerza de propulsión  $P_t$ , se procede a dividir el valor por el área de sección transversal para hacer la comparación con la tabla propuesta en el libro de BARLOW.

$$\frac{12,8 kW}{1m^2} = 12,8 \frac{kW}{m^2}$$

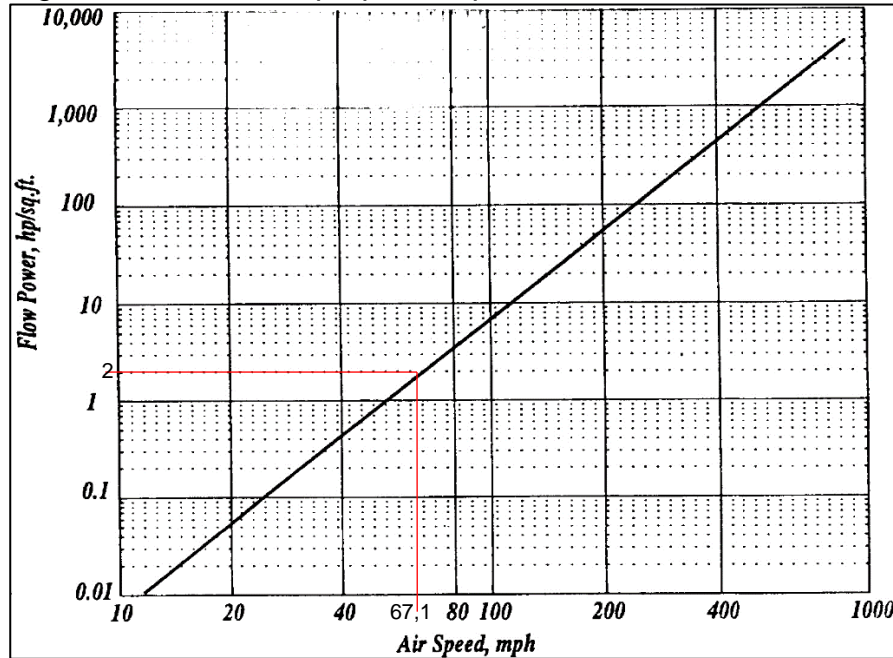
Figura 18. Jet power por unidad de área para velocidades seleccionadas

V (mph)	V (m/s)	Mach Number	hp/ft <sup>2</sup>	kW/m <sup>2</sup>
20	8.94	0.026	0.055	0.44
50	22.35	0.066	0.85	6.88
100	44.7	0.131	6.82	54.72
200	89.4	0.263	54.56	437.3
300	134.1	0.394	184.15	1476.2
400	178.8	0.525	436.51	3499.9

Fuente. BARLOW, Jewel; POPE, Alan y RAE, William. Low-speed wind tunnel testing. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, inc 1999.

Se determina que el valor calculado de  $12,8 Kw/m^2$  se encuentra en el rango para velocidades de entre 22,35 m/s y 44,7 m/s; otra forma de verificar el valor calculado es por medio de la Figura 19., que muestra fuerza de propulsión por unidad de área en función de la velocidad del aire para la densidad estándar del nivel del mar.

Figura 19. Fuerza de propulsión por unidad de área



Fuente. BARLOW, Jewel; POPE, Alan y RAE, William. Low-speed wind tunnel testing. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, inc 1999.

Ya que en la Figura 19., la velocidad se encuentra en mph, se procede a hacer la conversión de m/s a mph.

$$v = 30 \frac{\text{metros}}{\text{segundo}} * \frac{1\text{milla}}{1609,34\text{metros}} * \frac{3600\text{segundos}}{1\text{hora}} = 67,1\text{mph}$$

Con el valor de 67,1mph calculado, procedemos a la gráfica y verificamos que tenemos un valor aproximado de 2 hp/ft<sup>2</sup> y hacemos la conversión a kW/m<sup>2</sup>.

$$2 \frac{\text{hp}}{\text{ft}^2} * \frac{10,7639\text{ft}^2}{1\text{m}^2} * \frac{0,7457\text{Kw}}{1\text{hp}} = 16,05 \frac{\text{Kw}}{\text{m}^2}$$

Con el dato calculado se puede verificar que es diferente al que se calculó para hacer la comparación con la Figura 18., esto se debe a que esta gráfica es construida con valores calculados a nivel del mar, lo cual hace que varíe la densidad ya que el túnel de viento propuesto se ubica en la ciudad de Bogotá D.C, pero se puede concluir que los valores están muy próximos y se encuentran dentro del rango para las velocidades de 22,35 m/s y 44,7 m/s.

La potencia requerida para el funcionamiento del túnel de viento es de 12,8 kW o 17,1 HP según lo calculado.

Este procedimiento se realiza con el fin de tener un referente de potencia requerida para el funcionamiento del túnel de viento.

#### 4.7 PRESIÓN DE ENTRADA AL VENTILADOR

El cálculo de la presión de entrada al ventilador se realiza con base en las pérdidas generadas en el túnel, con aplicando la ecuación de presión hidrostática<sup>41</sup>,

$$P = \rho * g * h$$

Donde;

*P*: Presión en pascales

*ρ*: Densidad del aire en Kg/m<sup>3</sup>

*g*: Gravedad en m/s<sup>2</sup>

*h*: Perdidas en m

$$P = 0,95 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 32,64 m$$

$$P = 304,1884 Pa$$

Estas pérdidas equivalen a 304,1884 Pa ó 1,22 inH<sub>2</sub>O calculados con la densidad del aire de Bogotá D.C, esta conversión para la selección del motor.

De la sumatoria de presiones se despeja P2.

$$\Delta P = P1 - P2$$

$$\Delta P = 304,226 Pa$$

$$P1 = 101.592 Pa$$

$$P2 = P1 - \Delta P$$

$$P2 = 101.592 Pa - 304,226 Pa = 101.287,8 Pa$$

La presión a la entrada del ventilador es de 101.287,8 Pa.

#### 4.8 CÁLCULO DEL MOTOR

Para determinar el sistema de propulsión del túnel de viento se requiere el valor de las pérdidas que se generan por los componentes del túnel, la pérdida total es 32,64 m o 1,22 inH<sub>2</sub>O

---

<sup>41</sup> CENGEL, Yunus y CIMBALA, John. Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones Primera Edición. México: McGraw-Hill, 2006. p 189.

Se procede a convertir este valor a presión, multiplicando la pérdida en metros por la densidad del aire en Bogotá de 0,95 kg/m<sup>3</sup> y la gravedad de 9,81 m/s<sup>2</sup>.

$$304,226 Pa * 30 \frac{m^3}{s} = 9,127 W * \frac{1 HP}{745,7 W} = 12,24 HP$$

Para garantizar una velocidad de 30 m/s en la cámara de prueba se requiere que al ventilador llegue una potencia mecánica de 12,24 HP para el túnel de viento. El fabricante determina para estas condiciones de uso un factor de seguridad de 1,5, dando como resultado una potencia de 18,36 HP para el ventilador y un flujo de 108000 m<sup>3</sup>/hora.

Estos cálculos determinan que el motor eléctrico debe tener mayor potencia debido a las pérdidas por la transmisión mecánica desde el motor hasta el ventilador.

Condiciones para selección del motor;

- ✓ Caudal de 108.000 m<sup>3</sup>/hora o 63.566,46 CFM
- ✓ Potencia: 18,36 HP
- ✓ Diámetro: 1,95 m o 76,77 in

Para efectos de selección del sistema de propulsión, según catálogo se aproxima a los siguientes valores:

- ✓ Caudal: 64.000 CFM
- ✓ Potencia: 19 HP
- ✓ Diámetro: 77 in
- ✓ Ventilador axial
- ✓ Temperatura de Bogotá D.C: 57 grados fahrenheit
- ✓ Altura sobre el nivel del mar: 8800 Ft
- ✓ Pérdidas: 1.22 inH<sub>2</sub>O

Por medio del software eCaps<sup>42</sup> para selección de ventiladores del fabricante Greenheck, se ingresaron los datos del caudal, pérdidas, altura sobre el nivel del mar del sitio de instalación y temperatura del sitio como se muestra en la Figura 20.

---

<sup>42</sup> GREENHECK FAN CORP. Ecaps. Disponible en: <https://Ecaps.Greenheck.Com/>

Figura 20. Selección en software Ecaps

Rank	Model Name	Actual CFM	Total Exter... SP (in. wg)	Budget Price (US\$)	Opera... Cost/yr	Bhp	Inlet Sones	Inlet dBA	Fan RPM	Drive Type	Wt. (lbs)	AM...
36	VAD-72F26-06	64,111	1.224	\$24,828	\$4,013	20.2	66	91	870	Direct	2433	+
85	VADS-72F26-06	64,111	1.224	\$36,841	\$4,013	20.2	46	83	870	Direct	3383	-
31	VAD-66F26-11	64,160	1.226	\$23,770	\$4,092	20.6	67	92	870	Direct	2283	+
78	VADS-66F26-11	64,160	1.226	\$35,002	\$4,092	20.6	45	83	870	Direct	3083	-
3	AX-160-400-0626	64,019	1.221	\$15,859	\$4,190	21.1	53	86	870	Direct	2189	+
55	VAD-72F30-06	64,419	1.236	\$29,405	\$4,196	21.1	66	91	870	Direct	2433	+
89	VADS-72F30-06	64,419	1.236	\$38,177	\$4,196	21.1	45	83	870	Direct	3383	-
32	VAD-72H26-13	64,023	1.221	\$23,849	\$4,266	21.5	70	92	870	Direct	2433	+
83	VADS-72H26-13	64,023	1.221	\$35,861	\$4,266	21.5	47	84	870	Direct	3383	-
95	VABS-72F30	64,000	1.220	\$44,068	\$4,298	21.6	50	84	719	Belt	3216	-

Fuente. GREENHECK FAN CORP. Ecaps. Disponible en: <https://Ecaps.Greenheck.Com/>

El sistema de potencia seleccionado es del fabricante Greenheck modelo VADS-72F26-08 el cual cumple con todas las condiciones anteriormente mencionadas y con el tamaño adecuado igual o próximo al de la sección de salida del difusor. En la Figura 21., se muestra la información básica suministrada por el software Ecaps como las dimensiones de largo, alto y ancho del ventilador.

Figura 21. Ecasp Modelo VADS-72F26-06

Label	Dimension	Value
A	Overall Height	87.750 in.
B	Overall Width	78.375 in.
C	Overall Length	80 in.

Type	Drawing
SVG	VADS-72.svg
Dwg2D	VADS-72.dwg
Dwg3D	VADS-3D.dwg
Revit	VADS-Revit.zip

Fuente. GREENHECK FAN CORP. Ecaps. Disponible en: <https://Ecaps.Greenheck.Com/>



Las especificaciones y costos del sistema de potencia se pueden ver en el anexo G.

#### 4.9 MATERIALES

Se propone lámina de acero Cold Rolled calibre 12 o 14 para las zonas de estabilización, el contructor y el difusor, por su baja rugosidad que disminuye las pérdidas de presión generadas al interior del túnel de viento; para la cámara de prueba se plantea acrílico de dos (2) cm de espesor, con baja rugosidad y transparente para la visualización de las pruebas.

Un arreglo de tres mallas de nylon para la sección de mallas y para el panel de abeja una malla de plástico con las especificaciones de la sección 4.1.1.1 y 4.1.1.2 respectivamente.

El ensamble de la cámara de pruebas se realiza con perfiles en L y tornillos de sujeción, esto para unir las caras que complementen la sección, para el resto de secciones se tiene una lámina en cada cara con pestañas de 5 cm para poder acoplar las otras láminas. Las uniones de los perfiles estructurales con las piezas de la cara se realizan con tornillos cabeza hexagonal tipo T 10 X 40 y se sujetan con tuercas.

Para unir los componentes del túnel se colocan perfiles en L en los extremos de contacto entre secciones de manera que, al acoplar los perfiles, queden espalda con espalda y sujetando su respectiva sección. Entre los perfiles se adapta una lámina de caucho para evitar fugas de aire y la estructura soporte también estará sujeta en la parte inferior de cada unión.

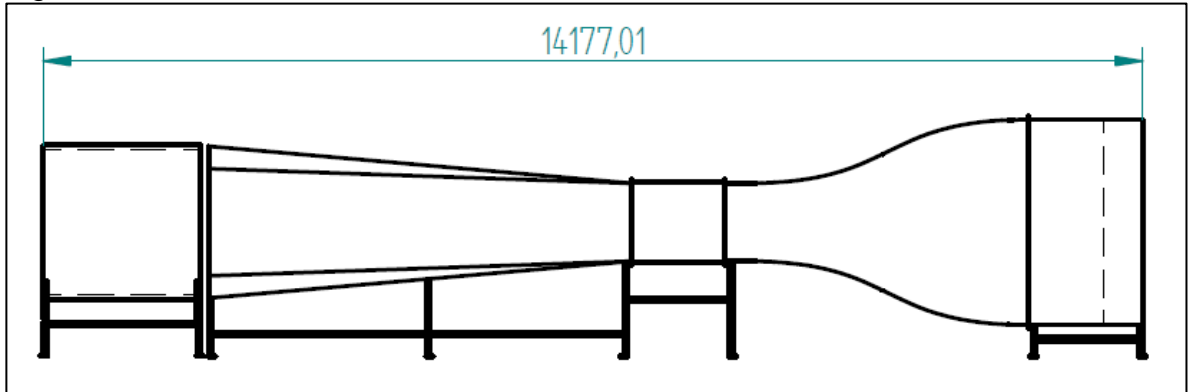
Todos los acoples entre secciones se realizan con tornillos de cabeza hexagonal tipo T10 X 50 y se sujetan con pernos. Se recomienda colocar pernos cada 25 cm máximo en las uniones para evitar fugas de aire.

#### 4.10 INSTALACIÓN PARA ALBERGAR EL TÚNEL DE VIENTO

El túnel de viento planteado se alberga en un recinto cerrado que permite la recirculación de aire en el interior con el fin de minimizar el impacto que pueda generar en el ambiente circundante.

Primero se determinan las dimensiones del largo y ancho de todo el túnel, que se encuentran en la Figura 22, sin incluir las del ventilador que tiene un largo de 2 metros.

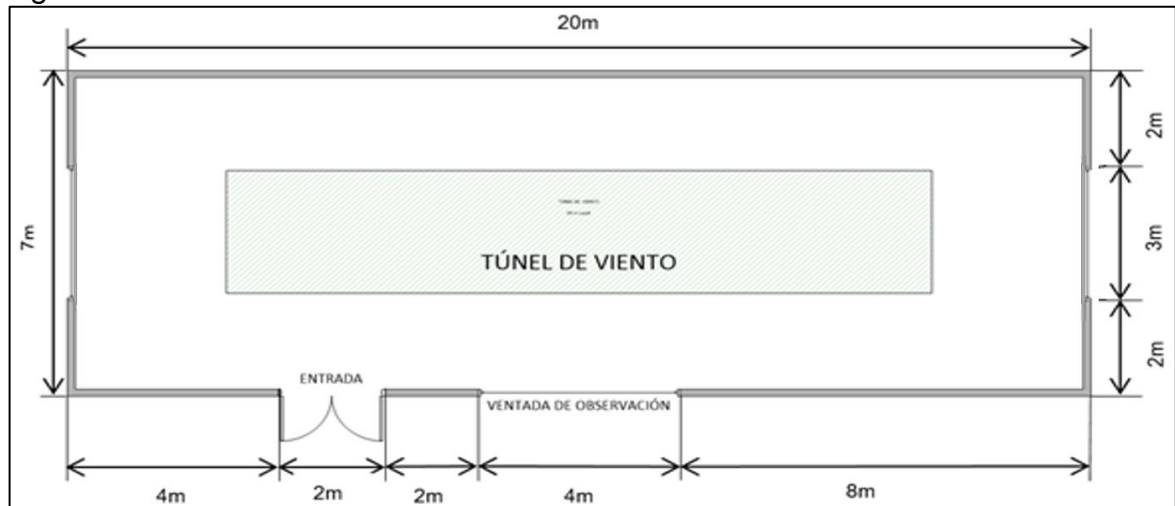
Figura 22. Dimensiones del túnel de viento



Con las dimensiones del túnel de viento se determina un recinto de forma rectangular con dimensiones de 7 metros de ancho, 20 metros de largo y de 4,5 metros de alto, el cual en los extremos posee un sistema de aberturas que permitan la admisión y expulsión de aire directamente a la atmósfera como se ilustra en la Figura 24.

El sistema de abertura para la entrada y salida de aire es por medio de una puertas herméticas en cada extremo; de tal manera que al estar cerradas permitan la recirculación de aire internamente y al estar abiertas el aire será extraído de la atmósfera y posteriormente expulsado a la misma sin afectar las condiciones internas de funcionamiento del túnel de viento; se posee una puerta lateral hermética de apertura central que permite el ingreso al recinto y una ventana hermética lateral que permite la visualización de la cámara de prueba, también se recomienda que el acabado de las paredes internas del recinto tenga un coeficiente de rugosidad bajo que evitará problemas con la recirculación del viento internamente.

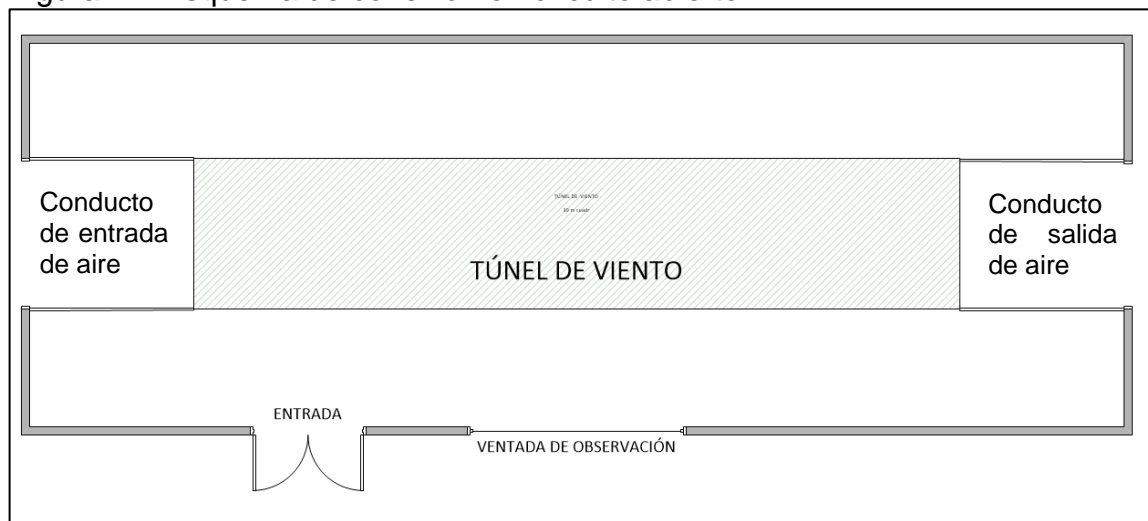
Figura 23. Dimensiones del recinto del túnel de viento



Con el fin de realizar pruebas donde no se requiera el generador de humo para la visualización del flujo, se trabaja con el cuarto cerrado para permitir el retorno del viento como se ilustra en la Figura 23., y así reducir los costos de operación.

Para realizar pruebas con humo se determina un diseño que permite la apertura de los extremos del recinto y la conexión directa al túnel de viento por medio de un conducto de lámina de acero como se ilustra en la figura 24, con el fin que absorba aire de la atmósfera y lo expulse a la misma sin contaminar el aire interno del recinto, la conexión entre el túnel y las ventanas del recinto se realiza por medio de un conducto en lámina metálica cold rolled calibre 14.

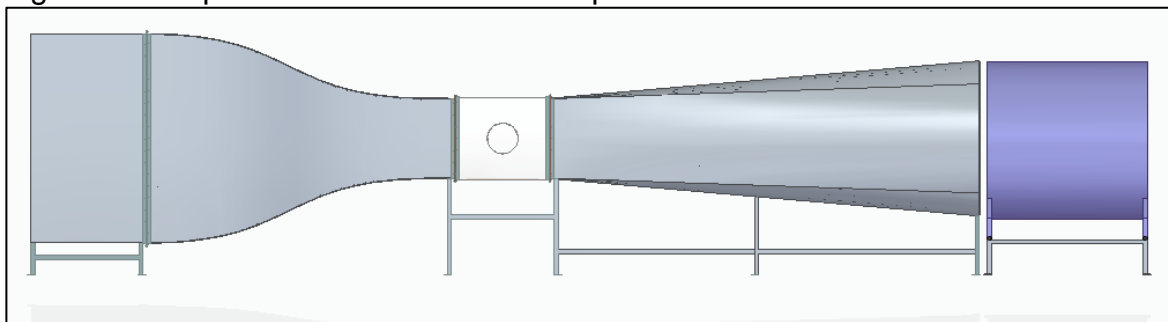
Figura 24. Esquema de conexión en circuito abierto



#### 4.11 ESTRUCTURA SOPORTE

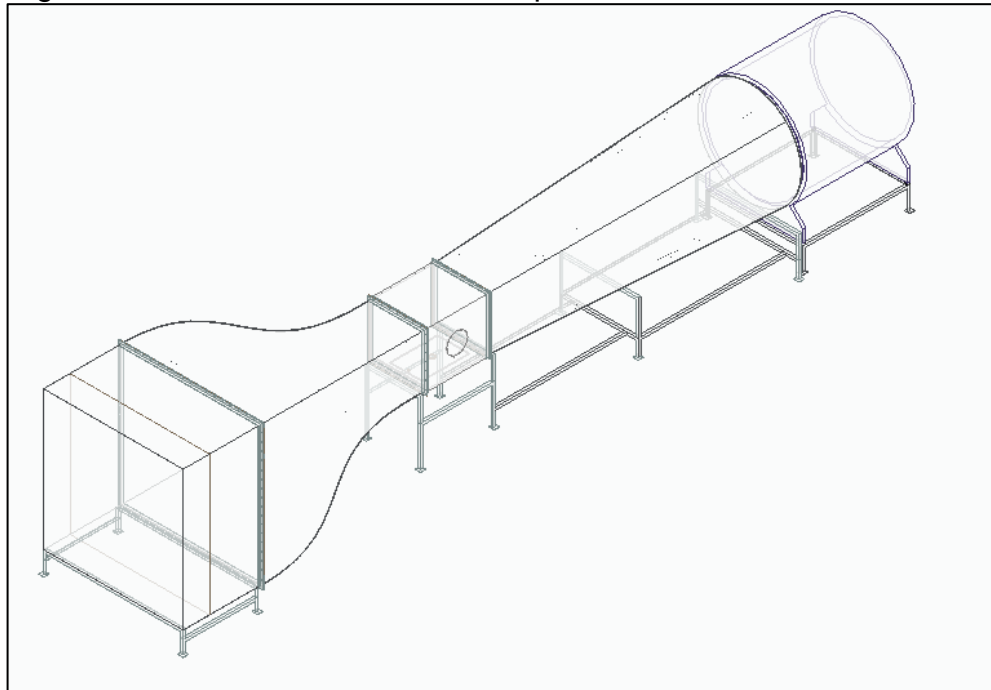
Para soportar los componentes diseñados anteriormente se realiza la estructura soporte del túnel de viento con acero estructural ASTM A-36 con perfil estructural tipo L 50 x 7, la cual estará dispuesta como se ilustra en la Figura 25.

Figura 25. Disposición de la estructura soporte del túnel de viento



Como se ilustra en la Figura 26., los perfiles principales forman una  $n$  y van unidos entre sí con otra sección recta con el fin dar rigidez estructural como se puede apreciar en la Figura 26; las esquinas terminan en bisel y soldados entre sí. En la base también estarán soldados a una lámina cuadrada de 100 X 7 la cual tendrá cuatro agujeros para empotrar la estructura al piso donde se instale el túnel de viento.

Figura 26. Diseño de la estructura soporte



La estructura está dispuesta para colocar al principio y al final de la sección de estabilización de flujo y de cámara de prueba. En el caso del difusor, tendrá una en la mitad y una al final y el difusor no tendrá estructura independiente.

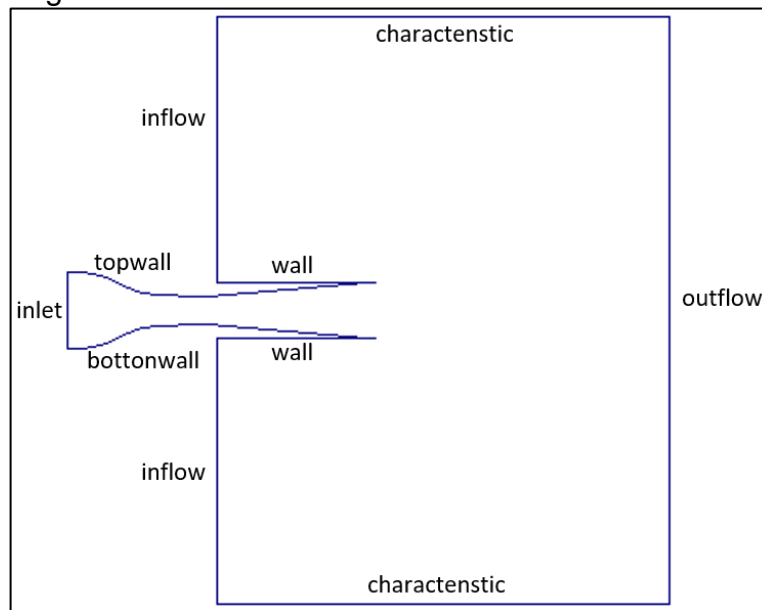
## 5. SIMULACIÓN

### 5.1 DOMINIO

La simulación del túnel de viento se trabaja en un plano 2D en el cual se determina un dominio con tres de los componentes del túnel, estos son el contructor, la cámara de prueba y el difusor; a la salida de este último elemento se dimensiona un espacio que se designa como salida al ambiente para que el flujo no tenga “rebote” o incidencia que forme turbulencia en el difusor y pueda afectar el comportamiento del fluido al interior del túnel.

En el dominio se determinan las paredes que se muestran en la Figura 27., la pared *inlet* es la entrada de fluido al sistema, las paredes *topwall*, *bottonwall* y *wall* son sólidas y representan las pareces del túnel de viento y las paredes *inflow*, *characteristic* y *outflow* son salidas al ambiente.

Figura 27. Paredes de simulación



Para realizar la simulación se hace uso de una malla estructurada que cubre el dominio del túnel de viento y la salida al ambiente como se muestra en la Figura 28. y se densifica en las paredes del interior del túnel con el fin de observar a detalle el comportamiento del flujo en estas zonas, Figura 29. Se trabaja una malla con un total de 111.204 elementos en todo el dominio.

Figura 28. Malla

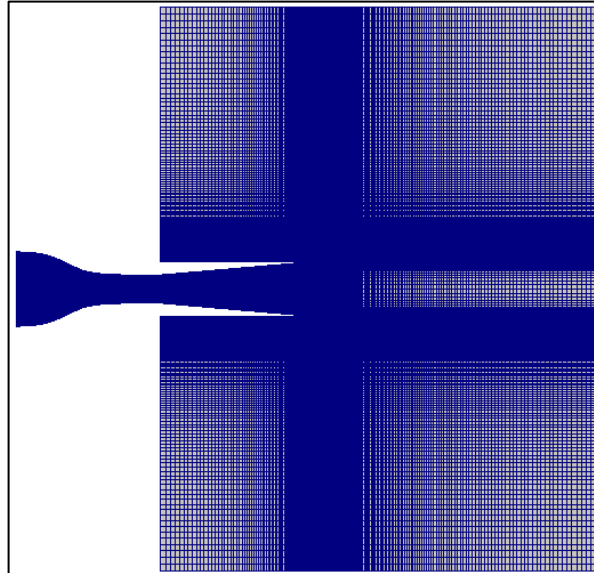
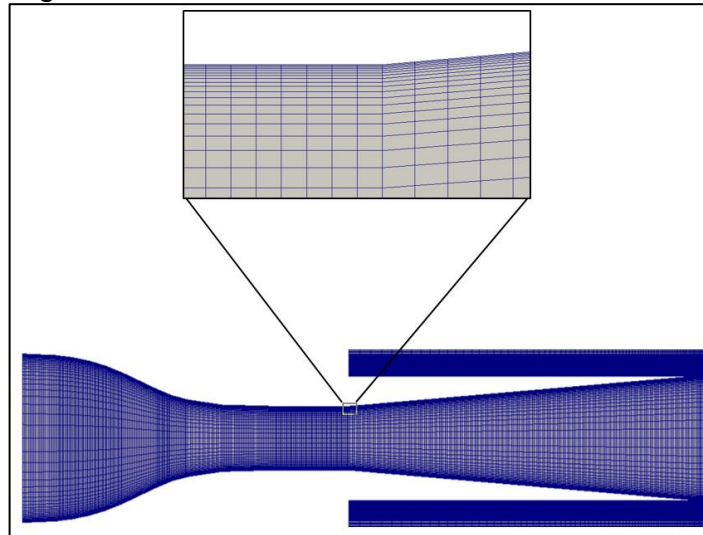


Figura 29. Densidad de malla



## 5.2 CONDICIONES INICIALES

Las condiciones iniciales para la simulación son la velocidad inicial establecida en la Sección 4.1.1.1, la cual es de 4.3 m/s, la presión de entrada en el contractor que corresponde a la presión atmosférica y la presión a la salida del difusor, que corresponde a la presión absoluta, es decir, la presión necesaria para mantener un flujo de 30 m/s más la presión atmosférica. Este delta de presión corresponde al necesario para calcular la potencia del ventilador requerida.

Para encontrar este valor se realizan simulaciones con un delta de presión de 10 kPa, 5 kPa, 2 kPa y 305 Pa, este último delta corresponde al valor de pérdidas dentro del túnel, calculado en la Sección 4.1 y es el valor con el que la velocidad se estabiliza dentro de la cámara de prueba a aproximadamente 30 m/s.

### 5.3 SOLUCIONADOR

Se hace uso del software de simulación de CFD OpenFoam 3.0x para Windows y el solucionador utilizado es el rhoCentralFoam el cual es un “Solucionador de flujo compresible basado en densidad, diseñado a partir de esquemas centrales de Kurvanov y Tadmor”<sup>43</sup>.

### 5.4 FLUIDO

El fluido de trabajo es aire a condiciones ambientales de Bogotá D.C las cuales son:

- ✓ Temperatura media anual 14 °C
- ✓ Presión atmosférica equivalente a 101.592 Pa (10.359,5 mmH2O, 30,00 inHg)
- ✓ Densidad del aire 0,95 kg/m<sup>3</sup>.
- ✓ Viscosidad dinámica<sup>44</sup> 1,785x10<sup>-5</sup> Pa\*s

### 5.5 DELTA DE TIEMPO

El delta de tiempo aproximado que utiliza el software para llevar a cabo la simulación es de 1,55x10<sup>-6</sup> segundos.

Realizando iteraciones con una malla de 55.480 celdas se determina que a 1,5 s de simulación el flujo dentro de la cámara de prueba es estable y se toma este valor como punto de referencia para realizar la independencia de malla.

### 5.6 ESTUDIO DE INDEPENDENCIA DE MALLA

Se realiza el estudio de independencia de malla densificándola desde 55k 70k 111k celdas y se compara la velocidad en la cámara de prueba en T = 1,5 s hasta obtener un error de la velocidad por debajo de un 9%; el error se calcula con la siguiente formula:

$$\%E_{velocidad} = \left| \frac{v_{mayor} - v_{menor}}{v_{menor}} \right| * 100\%$$

<sup>43</sup> GREENSHIELDS, Christopher J. Openfoam; User Guide. 2015.

<sup>44</sup> Tabla viscosidad dinámica del aire. Disponible en: [http://www.dedec.net/tiki-read\\_article.php?articleId=14](http://www.dedec.net/tiki-read_article.php?articleId=14)

Donde;

$\%E_{velocidad}$ : Error de la simulación de mayor cantidad de elementos con respecto a la de menor cantidad

$v_{mayor}$ : Velocidad de la simulación mayor cantidad de elementos

$v_{menor}$ : Velocidad de la simulación con menor cantidad de elementos

Cuadro 10. Independencia de malla

Cantidad de celdas	% De error de velocidad	Velocidad promedio (m/s)
55.480	-----	34,90
70.350	29,29%	27,50
111.204	8,19%	25,36

El valor de 55.480 celdas, es el valor de referencia para hacer el cálculo de error con respecto a la siguiente simulación y tener la independencia de malla, debido a que el error de la simulación depende de la simulación anterior.

## 5.7 DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DEL FLUJO

El comportamiento del flujo de viento dentro de la cámara de pruebas determinado en el simulador da como resultado régimen turbulento, según Reynolds,  $Re > 4.000$ , como se muestra en la Figura 30., pero la gráfica de vorticidad, Figura 31. muestra que no hay vorticidad en el centro del túnel, únicamente en las paredes. También se observa el desarrollo de la capa limite a lo largo de la cámara de prueba y la turbulencia generada por el cambio de sección entre esta y el difusor

Figura 30. Reynolds en la cámara de prueba

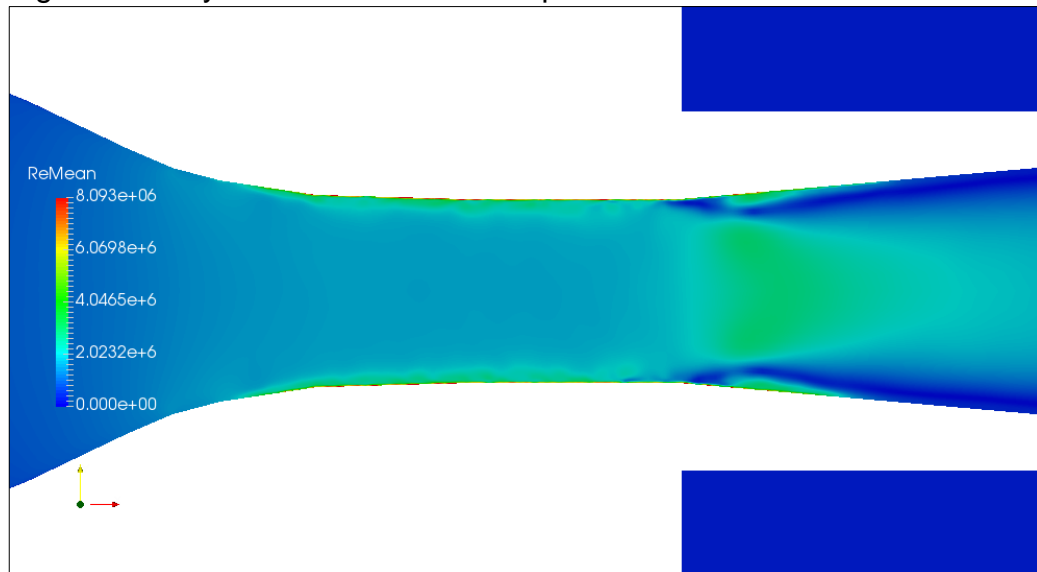




Figura 31. Vorticidad en la cámara de pruebas

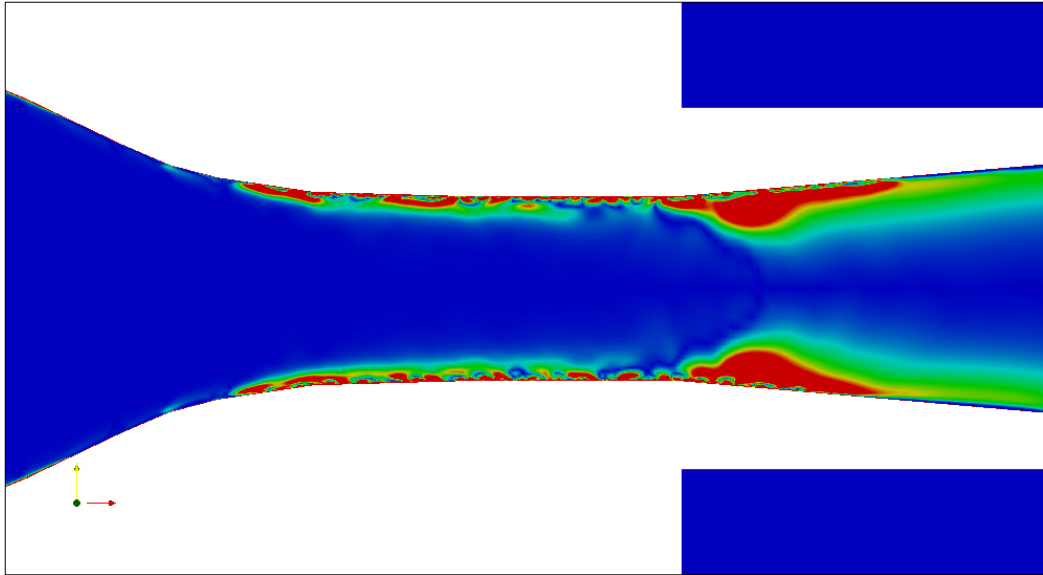
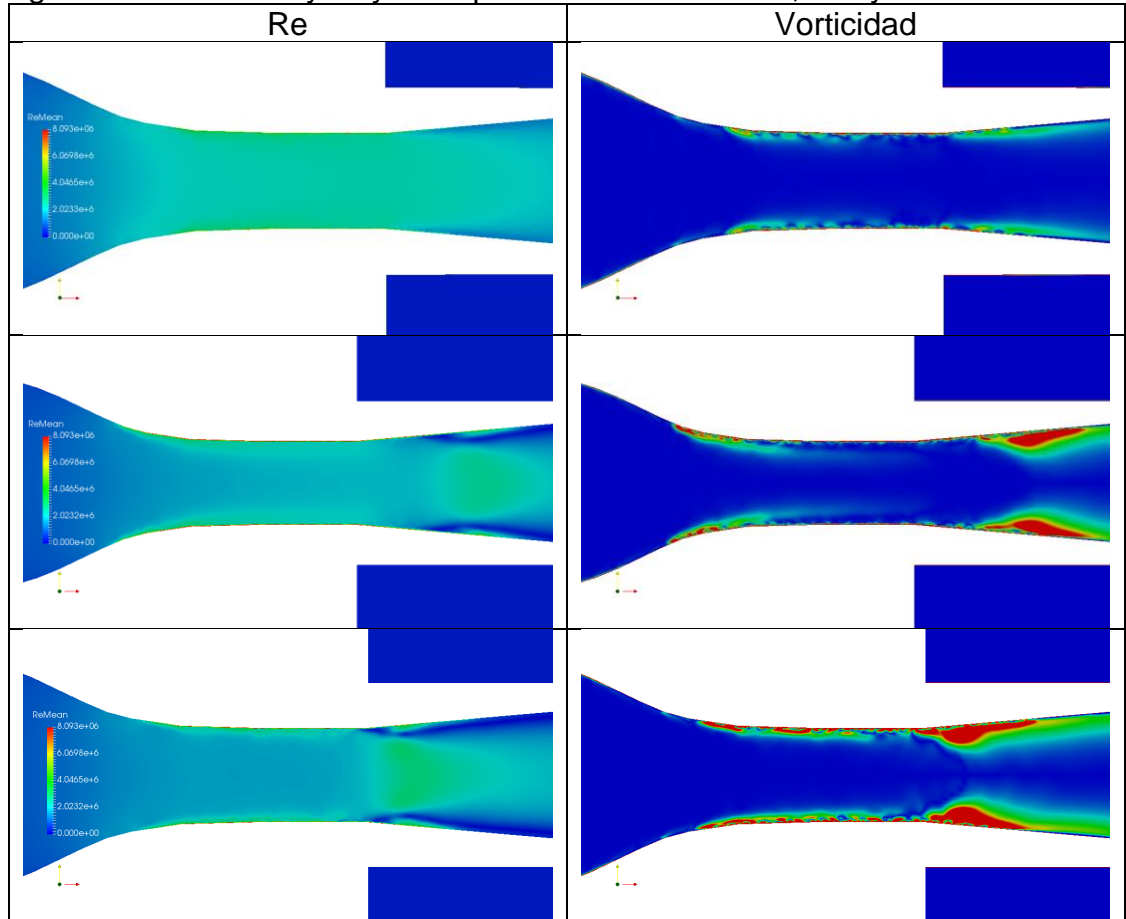


Figura 32. Vorticidad y Reynolds para simulaciones 55k, 70k y 111k elementos



Se realiza una comparación entre los resultados de Reynolds y la vorticidad para las simulaciones realizadas de 55k, 70k y 111k elementos, y se puede apreciar la similitud entre las gráficas de 70k y 111k en especial de la turbulencia generada en el cambio de sección.

## 5.8 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA A PARTIR DE LAS SIMULACIONES

El cálculo de la potencia requerida en el túnel de viento para mantener la velocidad aproximada de 30 m/s determinada por la simulación se realiza para las tres mallas establecidas en el estudio de independencia de malla en el instante de tiempo de 1,5 s. En el Cuadro 11. se muestran las potencias resultantes de la simulación y el error de cada una de ellas, el cual está al rededor del 5% para todas las simulaciones.

Los valores para el cálculo de la potencia los arroja el simulador y potencia fue calculada con la ecuación:

$$P = \bar{v} * A * \Delta P$$

Donde;

$P$ : Potencia del flujo

$\bar{v}$ : Velocidad promedio en la salida del difusor

$A$ : Área de la salida del difusor

$\Delta P$ : Variación de la presión entre la entrada y la salida del túnel de viento

Cuadro 11. Potencia de simulación

Número de elementos	Potencia (HP)	% error
55k	15,66	-----
70k	14,79	5,88%
111k	14,16	4,44%

Comparando los resultados de potencia de la simulación de 111k con la potencia calculada en la Sección 4.7, se observa una variación promedio del 20%.

## 6. INSTRUMENTACIÓN

Los instrumentos y mediciones dependen de las pruebas a realizar; los parámetros básicos se determinan según lo presentado en el libro Low-speed wind tunnel testing de Barlow, en los capítulos 4 y 5, estos parámetros son:

- ✓ Presión
- ✓ Visualización de flujo
- ✓ Temperatura
- ✓ Velocidad
- ✓ Flujo de aire
- ✓ Fuerzas
- ✓ Momentos

De acuerdo con esto se seleccionan los instrumentos necesarios para llevar a cabo las mediciones.

### 6.1 MEDICIÓN DE PRESIÓN

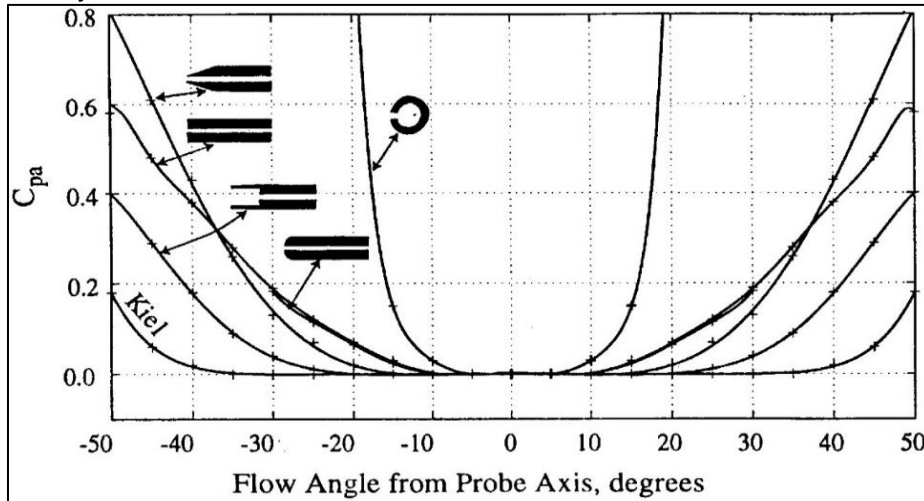
6.1.1 Tubo Pitot. Se utiliza para medir la presión total. Existen tubos Pitot con diferente forma lo cual afecta la sensibilidad del instrumento al variar el ángulo de medición con respecto al flujo. Los Pitot de nariz hemisférica arrojan error cuando la variación del ángulo con respecto al flujo es muy baja y los Pitot de nariz cuadrada presentan error cuando se presenta un ángulo  $8^\circ$  de variación con respecto al flujo<sup>45</sup>. Los tubos de Pitot de Kiel arrojan error cuando el ángulo es mayor a  $30^\circ$  permitiendo un campo de análisis mayor en comparación a otros modelos. En la Figura 33., se presenta la variación de error con respecto al ángulo de incidencia del flujo<sup>46</sup>.

---

<sup>45</sup> BARLOW, Jewel; POPE, Alan y RAE, William. Low-speed wind tunnel testing. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, inc 1999. p 154.

<sup>46</sup> Ibid., p 154.

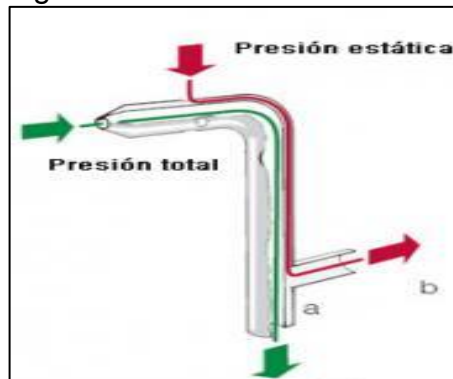
Figura 33. Variación del error con respecto al ángulo de incidencia de flujo



Fuente. BARLOW, Jewel; POPE, Alan y RAE, William. Low-speed wind tunnel testing. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, inc 1999.

6.1.2 Tubo Pitot estático. Es el instrumento de medición más común para determinar la presión total y la presión estática en un flujo. Está compuesto por dos orificios como se muestra en la Figura 34., el orificio a determina la cabeza total, y el orificio b detectan la presión estática. Para flujos subsónicos la diferencia de presión será aproximadamente  $\frac{1}{2}\rho V^2$  donde  $\rho$  es la densidad del fluido y  $V$  la velocidad, a partir de la cual se puede calcular la velocidad, siempre que esté disponible la densidad de fluido<sup>47</sup>.

Figura 34. Tubo Pitot estático



Fuente. TESTO. Sonda De Pitot. Disponible en: [Http://www.Academiatesto.Com.Ar/Cms/Sonda-De-Pitot](http://www.Academiatesto.Com.Ar/Cms/Sonda-De-Pitot)

<sup>47</sup> Ibid., p 155.

En un tubo Pitot estático se presentan errores dependiendo de la nariz del instrumento, si posee una nariz hemisférica su rango de medición sin errores estará entre  $-3^\circ$  a  $3^\circ$  de inclinación respecto al flujo, un tubo Pitot de nariz cuadrada presenta un rango superior, pero si se utiliza en flujos con un Reynolds muy bajo o en cercanía a la pared el error será mayor<sup>48</sup>.

6.1.3 Micro manómetro. Es un instrumento utilizado para mediciones de presión en fluidos y comprobar la presión entre el fluido y la presión local. La velocidad de respuesta es lenta así que no es útil cuando se requiere respuesta inmediata, en estos casos es recomendable utilizar otro tipo de instrumentos.

El rango de medición varía dependiendo del fabricante del instrumento al igual que las unidades en que se expresa la medición; existen micro manómetros análogos y digitales ofreciendo variedad dependiendo de su aplicación<sup>49</sup>.

Figura 35. Micro manómetro análogo



Fuente. CARAPAZ, Miguel, LOYO, Jorge Y MAYA, Maria José. El Micro Manómetro. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/48115488/Micro-manometro>

<sup>48</sup> Ibid., p 155.

<sup>49</sup> CARAPAZ, Miguel, LOYO, Jorge Y MAYA, Maria José. El Micro Manómetro. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/48115488/Micro-manometro>

Figura 36. Micro manómetro digital con sonda Pitot



Fuente. SUPERCONTROLS S.A., S. C.  
Micromanómetros Diferenciales; Disponible  
en: [Http://Www.Supercontrols.Com.Ar/Index-  
Frame.Html](http://www.supercontrols.com.ar/index-frame.html)

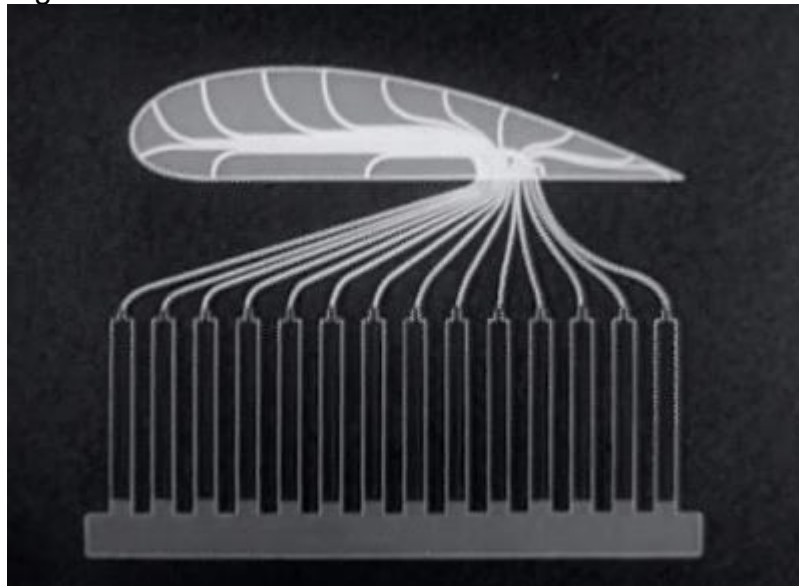
6.1.4 Manómetro de multi-tubo. Es un instrumento de medición de presión que está compuesto de múltiples tubos dependiendo la cantidad de puntos de medición con las que cuenta el equipo como se muestra en la Figura 37. Los tubos tienen en su interior una columna de fluido que varía la altura dependiendo la medición en el punto. Este instrumento permite la medición didáctica, múltiple y simultánea otorgando una referencia visual de la presión en todos los puntos a medir, en la Figura 35., se ilustra un perfil alar al cual tiene múltiples puntos de medición de presión a donde van conectados los tubos del manómetro para hacer la medición.

Figura 37. Manómetro de multi-tubo



Fuente. P.A.Hilton Ltd. F100a Multi-Tube Manometer. Disponible en: [Http://Www.P-AHilton.Co.Uk/Products/F100a-Multi-Tube-Manometer-](http://www.P-AHilton.Co.Uk/Products/F100a-Multi-Tube-Manometer-)

Figura 38. Mediciones con manómetro de multi-tubo

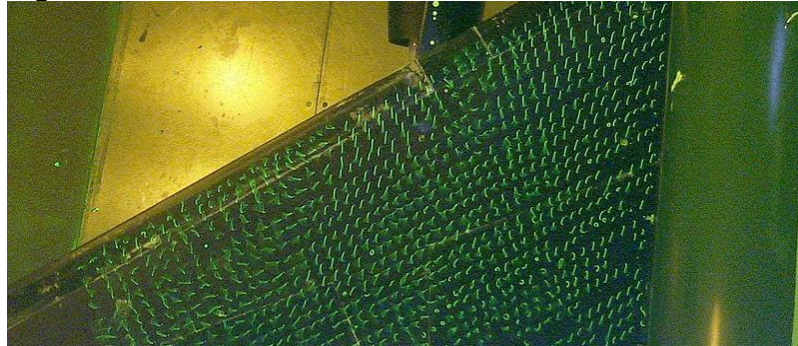


Fuente. PANOS, Kristina. Retrotechtacular: Forces Acting On An Airfoil. Disponible en: [Http://Hackaday.Com/2014/08/19/Retrotechtacular-Forces-Acting-On-An-Airfoil/](http://Hackaday.Com/2014/08/19/Retrotechtacular-Forces-Acting-On-An-Airfoil/)

## 6.2 VISUALIZACIÓN DE FLUJO

6.2.1 Mechones y redes de mechones. Es un método muy versátil y de bajo costo para la visualización del flujo; Se puede utilizar de múltiples formas, una es por medio de una varilla de mechones para verificar el flujo, otra es un mechón largo en un poste con el fin de rastrear el comportamiento del flujo, la principal es por medio de mechones cortos adheridos al modelo como se ilustra en la Figura 39. Y por último es una malla con mechones que permite ver el comportamiento del flujo luego de afectar al modelo<sup>50</sup>.

Figura 39. Prueba con mechones en túnel de viento.



Fuente. UWAL, Crew Wing with minitufts. Disponible en: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Wing\\_with\\_minitufts.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Wing_with_minitufts.jpg)

6.2.2 Humo. Es un método comúnmente usado para la visualización del flujo en un túnel de viento. Existen múltiples métodos de formación de humo, entre estos esta la quema de paja húmeda, madera y tabaco, pero estos métodos son insatisfactorios por el poco control sobre el humo al interior del túnel; igualmente existen métodos por medio de bombas de humo; otro método son los químicos que producen el humo a partir de tetracloruro de titanio y tetracloruro de estaño, que reaccionan con la humedad del ambiente y producen humo muy denso y son excelentes para emitir un hilo de humo para la prueba, pero este producto es muy corrosivo y por ende solo se utiliza en lugares bien ventilados; otro método químico utiliza una mezcla de amoníaco anhidro y dióxido de azufre que produce humo blanco denso<sup>51</sup>; dependiendo de los requerimientos de la prueba se puede hacer uno de un solo hilo de humo que varía su posición o de una columna de múltiples hilos como se muestra en la Figura 40.

---

<sup>50</sup> BARLOW, Jewel; POPE, Alan y RAE, William. Low-speed wind tunnel testing. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, inc 1999. p 193

<sup>51</sup> Ibid. p 194.



Figura 40. Prueba con humo en un túnel de viento



Fuente. GONCALVES, Renato. Aerodinámica automotriz y su evolución. Disponible en: <http://www.motoryracing.com/pruebas/noticias/la-aerodinamica-y-su-importancia/>

6.2.3 Cámara de alta velocidad. Son equipos de video capaces de grabar imágenes en movimiento y reproducirlas a baja velocidad para analizar fenómenos que a simple vista del ojo humano no sería posible. Estas cámaras llegan a grabar hasta 32.000 fotogramas por segundo<sup>52</sup> es decir que llega a tomar 32.000 fotos por segundo dependiendo el modelo y fabricante como se muestra en la Figura 41., la cual es una Phantom V210, esto da la posibilidad de analizar fenómenos en gran detalle. En el caso del túnel de viento permite visualizar luego de la prueba el comportamiento del humo o los mechones al someter el modelo al viento y hacer un análisis de los resultados de la prueba.

Figura 41. Cámara de alta velocidad PHANTON V210



Fuente. PANATEC. Modelo Phantom V211. Disponible en: <Http://Www.Panatec-Industria.Com/Camaras-Alta-Velocidad-Phantom-V210.Php>

## 6.3 MEDICIÓN DE VELOCIDAD

6.3.1 Tubo Pitot. Es un instrumento que permite múltiples mediciones, entre ellas la velocidad; todo depende del tipo de instrumento que se utilice y como se configure para la medición.

---

<sup>52</sup> AOS TECHNOLOGIES. Ultracompact Camera Is Rugged. En: Vision Systems Design. Aug 1., Vol. 12, No. 8, P. 72

El tubo Pitot es un tipo de sonda que permite la medición sin afectar de forma considerable el flujo de aire al interior de túnel de viento siendo muy útil para las pruebas a realizar. En la Figura 42., se presenta un micro manómetro con tubo Pitot que permite múltiples mediciones de fluido, entre estas, la presión, la velocidad del fluido y la temperatura. Es un instrumento muy práctico para los ensayos y dependiendo del fabricante y modelos varían los rangos de medición y la precisión, aunque se debe tener en cuenta que al utilizar un tubo Pitot se puede incurrir en errores dependiendo la nariz que el instrumento posee, tal como se mencionó anteriormente.

Figura 42. Micro manómetro con tubo Pitot



Fuente. PCEINST. Micromanómetro Con Tubo De Pitot Pce-Pfm 2. Disponible en: [Http://Www.Pce-Iberica.Es/Medidor-Detalles-Tecnicos/Instrumento-Presion/Micromanometro-Presion-Dc-100s.Htm](http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-presion/micromanometro-presion-dc-100s.htm)

6.3.2 Anemómetros térmicos. Son instrumentos con sensor de hilo caliente que permiten realizar mediciones de velocidades, temperaturas y caudales de aire, el rango de velocidades va desde 0,1 m/s. Estos anemómetros se utilizan en cabinas de flujo laminar y aplicaciones en conductos de aire. Dependiendo del fabricante y modelo varían las funciones que permite el instrumento, en la Figura 43 y Figura 44., se muestran dos modelos de anemómetros con diferente sonda de medición.

Figura 43. Anemómetro térmico de mano



Fuente. HOLDPEAK. Anemómetro Térmico De Mano. Disponible en: [Http://Digital-Analyzer.Com/3-2-3-Handheld-Thermo-Anemometer/184422](http://Digital-Analyzer.Com/3-2-3-Handheld-Thermo-Anemometer/184422)

Figura 44. Termo anemómetro de hilo caliente



Fuente. TERMOCUPLAS. Termoanemómetro Datalogger De Hilo Caliente. Disponible en: [Http://www.Termocuplas.Com.Co/Web/Product/Termoanemometro-Datalogger-De-Hilo-Caliente/](http://www.Termocuplas.Com.Co/Web/Product/Termoanemometro-Datalogger-De-Hilo-Caliente/)

## 6.4 MEDICIÓN DE TEMPERATURA

6.4.1 Anemómetro térmico. Como se mencionó anteriormente, este instrumento permite múltiples mediciones, incluida la temperatura.

6.4.2 Termocupla. Es un sensor de temperatura que funciona mediante dos alambres de distintos materiales unidos en un extremo, los cuales al aplicar temperatura generan un voltaje en milivoltios que varía con la temperatura y es leído por un registrador de datos que expresa la medición en una pantalla.

Figura 45. Registrados de temperatura con termocupla desnuda



TERMOCUPLAS. Registrador De Temperatura De Doble Entrada. Disponible en: <http://www.termocuplas.com.co/web/product/registrador-de-temperatura-de-doble-entrada/>

## 6.5 BALANZA AERODINÁMICA

Es un “sistema electromecánico que mide las fuerzas y los momentos aerodinámicos que actúan sobre una maqueta situada en la sección de prueba de un túnel aerodinámico”<sup>53</sup>. Es un instrumento muy confiable y preciso para la medición de fuerzas y momentos que actúan sobre los modelos al interior del túnel de viento; mide componentes en varios ejes dependiendo de las fuerzas a las que se somete el modelo<sup>54</sup>, estos pueden variar entre uno y seis dependiendo la prueba.

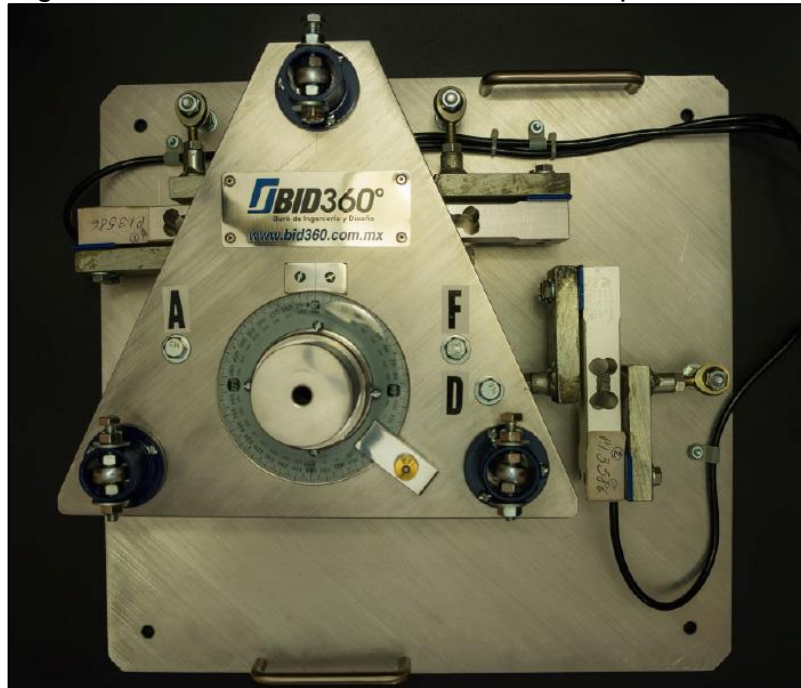
<sup>53</sup> REAL ACADEMIA DE INGENIERIA. Balanza Aerodinámica. Disponible en: <http://Diccionario.Raing.Es/Es/Lema/Balanza-Aerodin%C3%A1mica/?Tt-Portfolio=Aerdinamica>

<sup>54</sup> SOSA CRUZ, Yonymael, *et al.* Como Diseñar Una balanza Aerodinámica. Tlaxcala: 2015.

Las balanzas se clasifican en dos grupos dependiendo su ubicación en el túnel de viento; balanza externa la cual no se encuentra al interior de la cámara de prueba si no que se ubica en el exterior y balanza interna la cual posee sus soportes o equipo completo al interior de la cámara de prueba<sup>55</sup>.

En la Figura 46., se muestra una balanza aerodinámica de tres componentes del fabricante Bid360°.

Figura 46. Balanza aerodinámica de 3 componentes



Fuente. BID360°. Aerodinámica; Disponible en: <http://bid360.mx/?tt-portfolio=aerodinamica>

## 6.6 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS EN TIEMPO REAL

El hardware DAQ actúa como la interfaz entre una PC y señales del mundo exterior<sup>56</sup>. Se encarga de la toma de muestras o medición de parámetros físicos a una prueba de laboratorio o sistema en el mundo real, el cual recibe señales análogas y las manipula para convertirlas en señales digitales interpretadas por un computador o algún sistema digital para su visualización. Es necesario el acondicionamiento de la señal por medio de una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) o un módulo de digitalización que permita llevar la señal a valores reconocibles por parte del sistema que hace la conversión de análogo a digital<sup>57</sup>.

<sup>55</sup> Ibid., p 6

<sup>56</sup> NATIONAL INSTRUMENTS. ¿Qué Es Adquisición De Datos? Disponible en: [Http://www.Ni.Com/Data-Acquisition/What-Is/Esa/](http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/)

<sup>57</sup> Ibid., p 1



- ✓ Generador de humo
- ✓ Anemómetro térmico
- ✓ Termocupla y registrador de datos de temperatura
- ✓ Balanza aerodinámica
- ✓ Computador
- ✓ Sistema de adquisición de datos.
- ✓ Sistema de transmisión de datos por telemetría

6.8.1 Manómetros con sonda Pitot. Fabricante EXTECH INSTRUMENTS, modelo HD350.

6.8.2 Termocupla. Fabricante TECPEL, modelo TPK 04.

6.8.3 Generador de humo. Fabricante AMERICAN DJ, modelo FOG 1700HD.

6.8.4 Cámara de alta velocidad. Fabricante PCR instruments, modelo PCE-HSC 1660.

6.8.5 Anemómetro térmico. Fabricante METAL VANE ANEMOMETER, modelo YK-80AM.

6.8.6 Registrador de datos de temperatura. Fabricante THERMOMETER, modelo EA-15-NIST.

6.8.7 Sistema de adquisición de datos y sistema de transmisión de datos por telemetría. La empresa National Instruments ofrece todo el paquete para la adquisición, visualización y transporte de datos por telemetría.

6.8.8 Balanza aerodinámica. Fabricante BID360°, modelo SD-92.

6.8.9 Computador. La balanza aerodinámica de 3 componentes incluye el computador con el software precargado.

## 7. PRESUPUESTO

Para la elaboración del presupuesto se realizaron cotizaciones en el periodo entre mayo y junio de 2017; estas involucran un IVA del 19%.

### 7.1 COSTO MATERIALES

Para la construcción del túnel de viento se necesitan los siguientes materiales

- ✓ Acero laminado en frío (Cold Rolled) calibre 14: 18m<sup>2</sup> para la sección de mallas, 26 m<sup>2</sup> para el contractor y 28 m<sup>2</sup> para el difusor, para un total de 72m<sup>2</sup>, se adiciona el 10% por desperdicio, para un total de 79,2 m<sup>2</sup>
- ✓ Perfil en L 50 X 7: 16 m para la estructura soporte del túnel, 14 m para la cámara de prueba, 15 m para el contractor, 11 m para la sección de mallas, y 4.5 m para el difusor, para un total de 60,5 m
- ✓ Lamina de acero de 7 mm de espesor: 400 mm<sup>2</sup> para la base de la estructura, se adiciona el 10% por desperdicio, para un total de 440 mm<sup>2</sup>
- ✓ Acrílico de 20 mm de espesor: 5 m<sup>2</sup> para la cámara de prueba
- ✓ Empaque de caucho aislante con un ancho de 50 mm y espesor de 5 mm: 16m para la estructura soporte del túnel, 13 m para la cámara de prueba, 15 m para el contractor, 11 m para la sección de mallas, y 4 m para el difusor, para un total de 59 m, se adiciona el 10% por desperdicio, para un total de 65 m
- ✓ Lona para adaptar el ventilador al túnel de viento: 0,19 m x 1,95 m es decir 0,3705 m<sup>2</sup>, se adiciona el 10% por desperdicio, para un total de 0,408 m<sup>2</sup>
- ✓ Tornillos cabeza hexagonal tipo T 10x50: Porcentaje en peso del túnel equivalente al 10%, es decir aproximadamente 1.500 kg
- ✓ Mallas de nylon con un diámetro de fibra dw de 1 mm y un ancho de celda Wm de 5 mm, separadas 0,5 m entre sí, colocadas en una sección de 2,64 m X 2,64 m, es decir 20,91 m<sup>2</sup>, se adiciona el 10% por desperdicio, para un total de 23 m<sup>2</sup>
- ✓ Panel de abeja plástico con una densidad de 22.500 celdas en la sección de 2,64 m X 2,64 m, con una longitud de celda de 1,5 cm y un espesor de material de 1 mm. La longitud de la celda, Lh, es de 9,6 cm y de celda cuadrada



Costo de materiales:

- ✓ Lamina CR calibre 14: Aproximadamente 27 láminas de 4 ft x 8 ft, Anexo J, 3.138.394 COP
- ✓ Malla en Nylon: Anexo I, Rollo de 1,2 m x 30 m con un costo de 295.900 COP
- ✓ Perfil L 50X7: Anexo I, \$ 57.900 COP x 6 metros, es decir \$ 579.000 COP.
- ✓ Lamina ASTM -A36: 1m<sup>2</sup> x ¼ con un costo de \$ 175.000 COP.
- ✓ Acrílico: Laminas de 180 x 120 x 20 mm con un costo de \$ 1.000.000 COP cada una
- ✓ Lona: Anexo K, \$ 93.159 COP 1,15 m<sup>2</sup>.
- ✓ Empaque de caucho de 2" x 8 mm con un costo de \$ 15.000 COP.

## 7.2 COSTO DE INSTRUMENTOS

- ✓ Micro manómetros con sonda Pitot. Se solicita cotización en la empresa VIAINDUSTRIAL.COM<sup>59</sup>, del instrumento con referencia EXTECH INSTRUMENTS modelo HD350, con características especificadas en el anexo B y con un costo de 2.287.800 COP
- ✓ Generador de humo. Se solicita cotización en la empresa CYC ELECTRONICA<sup>60</sup>, del instrumento con marca AMERICAN DJ con referencia FOG1.700HD, con características especificadas en el anexo E y con un costo de 730.000 COP especificado en el anexo L
- ✓ Cámara de alta velocidad. Se solicita cotización en la empresa PCE Instruments<sup>61</sup>, del instrumento referencia PCE-HSC 1.660 con características especificadas en el anexo D y con un costo de 3.997,72 € o 13.025.106 COP

---

<sup>59</sup> VIAINDUSTRIAL.COM Consulta en: <http://www.viaindustrial.com/index.asp>

<sup>60</sup> CYC ELECTRONICA consulta en: <http://www.cycelectronica.com/ver-producto/fog-storm-1700hd/maquinas-de-humo>.

<sup>61</sup> PCE Instruments Consulta en: [https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/camara-de-alta-velocidad-pce-instruments-c\\_mara-de-alta-velocidad-pce-hsc-1660-det\\_3221390.htm?\\_list=kat&\\_listpos=1](https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/camara-de-alta-velocidad-pce-instruments-c_mara-de-alta-velocidad-pce-hsc-1660-det_3221390.htm?_list=kat&_listpos=1)

con TRM para el 29 de mayo de 2017 de 1 € equivalente a 3.258,13 COP<sup>62</sup>, cotización en el anexo J

- ✓ Anemómetro térmico. Se solicita cotización en la empresa VIAINDUSTRIAL.COM<sup>63</sup>, del instrumento con referencia METAL VANE ANEMOMETER modelo YK-80AM con características especificadas en el anexo A y con un costo de 1.186.612 COP
- ✓ Termocupla y registrador de datos de temperatura. Se solicita cotización en la empresa TERMOCUPLAS Control Industrial<sup>64</sup>, de los instrumentos con referencias EA15-NIST para Registrador de datos de temperatura y TPK 04 TECPEL para la termocupla cotización y características especificadas en el anexo F y con un costo conjunto de 1.739.780 COP, IVA incluido
- ✓ Balanza aerodinámica. Se solicita cotización en la empresa Buró de Ingeniería y Diseño 360<sup>65</sup>, del instrumento con referencias SD-92, con características especificadas en el anexo C y con un costo conjunto de 12.800 USD o 37.052.416 COP con TRM para el 3 de junio de 2.017 de 1 USD equivale a 2.894,72 COP<sup>66</sup> cotización en el anexo C; el precio incluye el equipo, el certificado de calibración, estuche de transporte, software básico de adquisición de datos y computadora con software precargado. COP
- ✓ Sistema de adquisición de datos y sistema de manejo de información por telemetría. Se consigue el paquete de productos con la empresa National Instruments y se realiza la cotización con ellos. Características y cotización de los instrumentos en el anexo H

### 7.3 COSTO DEL SISTEMA DE POTENCIA

Se seleccionó el sistema de potencia del fabricante Greenheck modelo VADS-72F26-08 el cual cumple con todas las condiciones mínimas que garantizan la operación del túnel de viento.

El costo del sistema de propulsión es de 35.560,39 USD<sup>67</sup> en Estados Unidos o 102.937.372,1 COP con TRM para el 3 de junio de 2.017 de 1 USD equivale a 2.894,72 COP<sup>68</sup>, con características técnicas y la cotización en el anexo G.

---

<sup>62</sup> BANCO REPÚBLICA DE COLOMBIA Disponible en: <http://obieebr.banrep.gov.co/analytics/saw.dll?Dashboard>

<sup>63</sup> VIAINDUSTRIAL.COM Consulta en: <http://www.viaindustrial.com/index.asp>

<sup>64</sup> TERMOCUPLAS Control Industrial. Consulta en: <http://www.termocuplas.com.co/web/>

<sup>65</sup> Buró de Ingeniería y Diseño 360. Consulta en: <http://www.bid360.mx/>

<sup>66</sup> BANCO REPÚBLICA DE COLOMBIA Disponible en: <http://obieebr.banrep.gov.co/>

<sup>67</sup> ECAPS GREENHECK. Disponible en: <https://ecaps.greenheck.com/selection.aspx>

<sup>68</sup> BANCO REPÚBLICA DE COLOMBIA Disponible en: <http://obieebr.banrep.gov.co/>

## 7.4 COSTO TOTAL

Con las cotizaciones realizadas y mencionadas en las secciones anteriores de este capítulo, se realizó el presupuesto del costo total del túnel de viento teniendo en cuenta el número de instrumentos o componentes requeridos para el equipo el cual se muestra en el Cuadro 12.

**Cuadro 12. Cotizaciones**

INSTRUMENTOS	FABRICANTE	MODELO	COSTO (COP) UNIDAD	CANTI- DAD	COSTO TOTAL (COP)
Medición de presión					
Manómetro con tubo pitot	EXTECH INSTRUMENTS	HD350	\$2.287.800	1	\$2.287.800
Visualización de flujo					
Maquina generadora de humo	AMERICAN DJ	FOG1700HD	\$730.000	1	\$730.000
Cámara de alta velocidad	PCE Instruments	PCE-HSC 1660	\$13.025.106	1	\$13.025.106
Medición de velocidad					
Manómetro con tubo pitot	El mismo para medición de presión				
Anemómetro térmico	METAL VANE ANEMOMETER	YK-80AM	\$1.186.612	1	\$1.186.612
Medición de temperatura					
Anemómetro térmico	El mismo para medición de velocidad				
Termocuplas	TECPEL	TPK 04	\$214.200	5	\$1.071.000
Registrador de datos de temperatura	THERMOMETER	EA 15-NIST	\$1.525.580	1	\$1.525.580
Medición de fuerzas					
Balanza aerodinámica	BID360	SD-92	\$37.052.416	1	\$37.052.416
Sistema de adquisición de datos					
DAQ	NATIONAL INSTRUMENTS		CompactDAQ 9220	1	\$ 47.676.721
Sistema de transmisión de datos					
Telemetría	Incluido en DAQ			1	
Medición de caudal de aire					
Manómetro con tubo pitot	El mismo para medición de velocidad				
Sistema de potencia					
Ventilador	GREENHEACK	VADS-72F26-08	\$106.644.380	1	\$102.937.372
Materiales					
Lamina de acero cold rolled calibre 14	METAZA	CR cal. 14	\$97.678	27	\$3.138.304
Perfil de L 50x7	HOMECENTER		\$579.000	10	\$579.000
Lamina ASTM-36	FERRECORTES	1 m <sup>2</sup> x ¼	\$175.000	2	\$350.000
Acrílico 180X120X20mm	AN ACRILICOS		\$1.000.000	4	\$4.000.000
Empaque de caucho	MAS CAUCHOS Y CORREAS	2" X 8 mm	\$ 15.000	53	\$ 795.000
Mallas de nylon	HOMECENTER	SKU:291760	\$ 295.900	1	\$ 295.900
Costo					\$216.129.711
Fabricación (40%)					\$86.451.884
Contingencias (10%)					\$30.258.160
Costo total					\$332.839.755

## 8. CONCLUSIONES

- ✓ Los túneles caracterizados presentan condiciones similares de tamaño, velocidades y uso, ya que son enfocados principalmente a la academia y en mayor medida a los análisis aerodinámicos, siendo las pruebas en edificios un campo poco desarrollado en Colombia.
- ✓ La instrumentación del túnel varía con respecto a las pruebas a realizar y se determinó que la presión, velocidad, temperatura, caudal, fuerzas, momentos y comportamiento de flujo son los parámetros básicos de medición para la selección de los instrumentos correspondientes.
- ✓ El volumen de la cámara de prueba seleccionada de 1mx1mx1,2 m, requiere un caudal de aire de 108.000 m<sup>3</sup>/hora para lo cual se determinó un moto-ventilador de grandes dimensiones y alta potencia.
- ✓ El costo del motor-ventilador seleccionado representa aproximadamente el 50% del costo total de proyecto debido al alto flujo de aire que se requiere en la cámara de prueba.
- ✓ Por medio de las simulaciones en CFD se valida el delta de presión calculado de 305 Pa en la sección de pérdidas dentro del túnel, el cual es la diferencia de presión entre la entrada y salida del túnel de viento
- ✓ Las simulaciones en CFD también muestran que en la región central de la cámara el flujo tiene un régimen laminar a pesar que el número de Reynold está por encima de  $2 \times 10^6$ .
- ✓ El cálculo de la potencia requerida en el ventilador difiere en aproximadamente un 20% entre los cálculos analíticos y las simulaciones en CFD.

## 9. RECOMENDACIONES

- ✓ Se propone, para la continuación del proyecto, el diseño de una balanza aerodinámica en reemplazo de la seleccionada, debido a que este instrumento es el de mayor costo.
- ✓ El espacio donde se ubique el túnel de viento debe contar con la capacidad de tomar el aire y expulsarlo fácilmente al ambiente, es decir sin obstrucciones de ningún tipo.
- ✓ Con el fin de evaluar los costos del motor se sugiere realizar otras cotizaciones, que permitan evaluar con agentes externos la importación o renegociar los términos del contrato compra.
- ✓ Para la generación de capa límite se recomienda realizar simulaciones con el fin de evaluar la distancia necesaria en la cámara de prueba para el desarrollo de la capa límite.
- ✓ Se recomienda un estudio más exhaustivo con CFD para refinar el cálculo de la potencia del ventilador dada la gran diferencia que se presentó.

## BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO VELEZ, Felipe. Diseño de un túnel de viento para prueba de ventiladores y perfiles aerodinámicos. Medellín.: Universidad Eafit, 2006. p. 150.

AERONAUTICA CIVIL., time-Series For Skbo Bogotá/ El Dorado: 2547m. Disponible en: <Http://Meteorologia.Aerocivil.Gov.Co/Meteogram/Index?lcao=Skbo>

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, La gestión de calidad del aire en la ciudad de Bogotá, mayo 31 de 2016, presentación ppt, 26 p.

AOS TECHNOLOGIES. Ultracompact Camera Is Rugged. En: Vision Systems Design. Aug 1, .Vol. 12, No. 8, P. 72

ARANGO DUQUE, Alejandro y YEPES MURILLO, Johanna Marcerla. Diseño, construcción y puesta en funcionamiento del túnel de viento subsónico de circuito abierto de la universidad nacional de Colombia sede Bogotá con implementación de sistemas de toma de datos de aire y visualización de flujo. Fundación Universidad Los Libertadores, 2014. p. 170.

ASCE, wind tunnel studies of building and structures, asce american society of civil engineers, Reston, Virginia, USA.

BALBASTRO,G. C. y SONZOGNI,V. E. Uso de CFD para estudio de presiones del viento en cubiertas curvas aisladas. En: Revista Internacional De Métodos Numéricos Para Cálculo y Diseño En Ingeniería. Jan.vol. 28, no. 1, p. 49-54

BARLOW, Jewel; POPE, Alan y RAE, William. Low-speed wind tunnel testing. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, inc 1999.

BERMEO VALLEJO, Jose Enrique; SIGUENCIA BERMEO, Danny Fabián and SERPA MEDINA, Pedro Israel. Diseño y construcción de un túnel de viento para análisis aerodinámico en vehículos a escala; Cuenca.: Universidad Politecnica Salesiana, 2012. p. 196.

BID360°. Aerodinámica; Disponible en: <http://bid360.mx/?tt-portfolio=aerdinamica>

BOLDES, Ulfilas, et al. Descripción y caracterización del túnel de viento de la Facultad de Ingeniería (UNLP). En: LINTA. p. 63-69

CARAPAZ, Miguel, LOYO, Jorge Y MAYA, Maria José. El Micro Manómetro. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/48115488/Micro-manometro>

CARO RINCON, Manuel Fernando, Et Al. Diseño De Un Túnel De Viento Subsónico Para Hélices De Máximo 30 Pulgadas. Bogotá.: San Buenaventura, 2012. P. 109.

CENGEL, Yunus y CIMBALA, John. Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones Primera Edición. México: McGraw-Hill, 2006. 997p.

CHICAS MOLINA, Francisco Ernesto. Diseño Y Construcción De Un Túnel De Viento; El Salvador.: Universidad Centroamericana “José Simeon Cañas”, 2012. P. 170.

COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTES. Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente Nsr-10 Tomo 1. Bogotá D.C.: 2010. 406

CORREA, Juan Felipe. Túnel De Viento Subsónico Nel Modelo M01-25-140m. 2011. 14

DÍAZ IRIBERRI, Luis. Estudio de propulsores para aplicación de túneles de viento. Casteldefells, España. 2005. Departamento de Ingeniería Térmica y de fluidos, 2012. 136 p.

ENERGIAS LIMPIAS. La velocidad del viento. Disponible en: [http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN\\_JUAN/676/eolica\\_y\\_molinos/capitulo\\_1/cap\\_1\\_2.htm](http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/eolica_y_molinos/capitulo_1/cap_1_2.htm)

FRIAS TARON, Ulises Javier. Diseño De Un Banco Experimental Para Caracterización De Aerogeneradores De Baja Potencia. Bucaramanga.: Universidad Industrial De Santander, 2011. P. 202.

FUERZA AEREA COLOMBIANA. Emavi Estrena Túnel De Viento Cerrado Subsónico, Único En Colombia. Enero, Disponible en: <Https://Www.Emavi.Edu.Co/Emavi-Estrena-T%C3%Banel-De-Viento-Cerrado-Subs%C3%B3nico-%C3%Banico-En-Colombia>

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMERICA. Guía metodológica para la elaboración de trabajos de grado y proyectos de investigación en pregrado. Bogotá D.C., 2011.

GÓMEZ RIVERA, William Y EDUARDO LLANO, Luis. Simulación Del Viento Atmosférico Y Aplicación Experimental. En: Ciencia E Ingeniería Neogranadina. Jan 1., Vol. 16, No. 1, P. 5-14

GONCALVES, Renato. Aerodinámica automotriz y su evolución. Disponible en: <http://www.motoryracing.com/pruebas/noticias/la-aerodinamica-y-su-importancia/>

GREENHECK FAN CORP. Ecaps. Disponible en: <Https://Ecaps.Greenheck.Com/>

HALL, Nancy. Types Of Wind Tunnels. Mayo,. Disponible en: <Https://Www.Grc.Nasa.Gov/Www/K-12/Airplane/Tuntype.Html>

HINCAPIE SIERRA, Carlos Libardo; GARCIA MOLANO, Juan Jahir Y OLMOS PERES, Lina. Estudio Sobre Técnicas De Visualización Y Medición De Flujo Para Su Uso Dentro Del Túnel De Viento Actual De La Universidad De San Buenaventura. Bogotá.: San Buenaventura, 2014. P. 183.

HINRICHSEN VERDUGO, Ricardo Nelson. Diseño y construcción de un túnel de viento ultra laminar de velocidad controlada. Universidad De Chile, 2001. p. 80

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS ICONTEC Y CERTIFICACIÓN, Documentación, presentación de tesis, trabajos de grado y trabajos de investigación. Bogotá D.C. NTC 1486. 2008. 6 ed. 41 p.

\_\_\_\_\_. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. Bogotá D.C. NTC 5614. 2008. 38 p.

\_\_\_\_\_. Referencias documentales para fuentes de información electrónica. Bogotá D.C. NTC 4489. 1998. 27 p.

KOSS, Holger. Research & Educational Wind Tunnel. Mayo,. Disponible en: [http://www.windengineering.byg.dtu.dk/research/research\\_and\\_educational\\_wind\\_tunnel](http://www.windengineering.byg.dtu.dk/research/research_and_educational_wind_tunnel)

LÓPEZ, Manuel. y SÁNDEZ, Rivadulla. Análisis CFD de un flap Gurney instalado en perfiles NACA. Leganés. España: Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior. Departamento de Ingeniería Térmica y de fluidos, 2008. 152 p.

MARTINEZ DE LA CALLE, Julian. Apuntes de Mecánica de fluidos 2ª parte, II.3. flujo externo Disponible en: <http://kimerius.com/app/download/5785355371/Flujo+externo.pdf>

MARTÍNEZ, Roberto. Construcción y caracterización de un túnel de viento a bajas velocidades, Parte I: Aspectos teóricos. Departamento de física. Bogotá D.C. Universidad Nacional de Colombia, Junio de 2011. 10 p.

MATAIX, Claudio, Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, segunda edición, Madrid. Ed castillo S.A. 1993. 660p

MEDENQUER RUIZ, Encarna, et al. Actividades de calibración de anemómetros en la Universidad politécnica de Madrid. En: 8º congreso iberoamericano de ingeniería mecánica. (23-25 de octubre de 2007). 2007.

MERRISON, Jonathan. Environmental Wind Tunnels. Rijeka, Croatia. Disponible en: <https://www.intechopen.com/books/wind-tunnels/environmental-wind-tunnels>



MUÑOZ MEJÍAS, Alberto. Diseño y análisis computacional para túnel de viento de baja velocidad. Leganés. España: Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior.

NATIONAL INSTRUMENTS. ¿Qué Es Adquisición De Datos? Disponible En: <Http://Www.Ni.Com/Data-Acquisition/What-Is/Esa/>

PINEDA MAIGUA, Diego Patricio y VEGA SANTILLÁN, William Hernán. Diseño y construcción de un túnel de viento subsónico con sistema de adquisición de datos para el estudio de la aerodinámica de los vehículos. Latacunga, Ecuador. 2010.

PRADA NOGUEIRA, Isaac. El Túnel Del Viento Como Herramienta De Ensayo Aerodinámico En La Fórmula 1. En: Anales De Mecánica Y Electricidad. Vol. 83, P. 8-15

REAL ACADEMIA DE INGENIERIA. Balanza Aerodinámica. Disponible en: <Http://Diccionario.Raing.Es/Es/Lema/Balanza-Aerodin%C3%A1mica/?Tt-Portfolio=Aerdinamica>

REVISTA SEMANA. Crisis Energética Prende La Alerta Roja. Marzo,. Disponible en: <Http://Www.Semana.Com/Economia/Articulo/Electricidad-En-Colombia-Podria-Haber-Racionamiento/463015>

ROSALES, M. Y BELLES, P. simulaciones numéricas de acciones de viento y sismo y su relación con ensayos físicos. En: PC PDF. 2003, p. 1037-1050.

SÁNCHEZ VÁZQUEZ, Jesús. Simulación numérica directa en paralelo de las ecuaciones de navier-stokes en flujos con capa límite desprendida. Aplicaciones en instalaciones deportivas con gradas cubiertas. Sevilla.: Escuela Superior De Ingenieros De Sevilla, 2004. P. 193.

SANDEZ, Rivadulla; LOPEZ, Manuel. Análisis CFD de un flap gurney instalado en perfiles naca; Universidad Carlos Iii De Madrid, 2012. P. 153.

SANZ, Ángel; PERALES, José Y PINDADO, Santiago. Túneles Aerodinámicos Para Aplicaciones De Ingeniería Civil. P. 9

SOSA CRUZ, Yonymael, *et al.* Como diseñar una balanza aerodinámica. Tlaxcala: 2015.

SOTELO, Gilberto. Proyecto De Un Nuevo Túnel De Viento. México: Unam, 2012.

TOLENTINO, Rene, *et al.* Modificaciones al túnel de viento del labinthap para mediciones de velocidad de aire desde 5 m/s hasta 30 m/s. México: 2004. 6p

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Túnel de viento; En: CONTACTO. no. 2

UNIVERSIDAD DE OVIEDO. Prácticas de laboratorio Capa límite. Oviedo: Universidad de Oviedo Área de Mecánica de Fluidos, 2009. 7 p.

WITTWER, Adrián; LOREDO SOUZA, Acir Y CAMANO SCHETTINI, Edith. Simulación de la capa límite para estudios de dispersión atmosférica en túnel de viento. Argentina.: Universidad Nacional Del Nordeste, P. 6.

ANEXOS

ANEXO A.  
ANEMÓMETRO

*metal vane*  
**ANEMOMETER**

**Model : YK-80AM**

**ISO-9001, CE, IEC1010**



**Lutron**  
**LUTRON ELECTRONIC**

**The Art of Measurement**

# metal vane ANEMOMETER

Model : YK-80AM

FEATURES	
* Microprocessor circuit assures maximum possible accuracy, provides special functions and features.	* Build in temperature °C, °F measurement.
* Metal vane, heavy duty & wide range air flow measurement.	* The portable anemometer provides fast, accurate readings, with digital readability and the convenience of a remote sensor separately.
* Large LCD with Dual function meter's display.	* Multi-functions for air flow measurement : m/s, km/h, ft/min, knots, mile/h.
* Heavy duty & compact housing case.	* Thermistor sensor for Temp. measurement, fast response time.
* Records Maximum and Minimum reading with RECALL.	* Used the durable, long-lasting components, including a strong, light weight ABS-plastic housing case.
* Data hold.	* Wide applications: use this anemometer to check air conditioning & heating systems, measure air velocities, wind speeds, temperature...etc.
* Auto shut off saves battery life.	
* Operates from 006P DC 9V battery.	
* RS 232 PC serial interface.	
* Low-friction ball vane wheels is accurate in both high & low velocities.	

GENERAL SPECIFICATIONS			
Circuit	Custom one-chip of micro-processor LSI circuit.	Over load Indication	Indicated by " - - - - ".
Display	* 51 mm x 32 mm supper large LCD display. * Dual function meter's display.	Operating Temperature	Meter : 0 °C to 50 °C (32 °F to 122 °F). Vane Probe : 0 °C to 60 °C (32 °F to 140 °F).
Measurement	m/s (meters per second), km/h (kilometers per hour), ft/min (feet/per minute), knots (nautical miles per hour), mile/h(miles per hour), Temp.- °C, °F., Data hold.	Operating Humidity	Less than 80% RH.
Sensor Structure	<i>Air velocity :</i> * Metal diecasting structure. * Conventional twisted van arm and low friction ball bearing design. <i>Temperature :</i> Thermistor.	Power Supply	006P DC 9V battery (heavy duty type).
Memory Recall	Records Maximum and Minimum readings with Recall.	Power Current	Approx. DC 8.3 mA.
Power Off	Auto shut off saves battery life or manual off by push button.	Weight	220 g/0.48 LB.
Sampling Time	Approx. 0.8 sec.	Dimension	Main Instrument : 200 x 68 x 30 mm (7.9x2.7x1.2 inch). Sensor head : Round, 72 mm Dia.
Data Output	RS 232 PC serial interface.	Accessories Included	Instruction manual..... 1 PC. Anemometer probe.....1 PC. Carrying case, CA-06..... 1 PC.
		Optional Accessories	RS232 cable, UPCB-02 Application windows software, SW-U801-WIN.

ELECTRICAL SPECIFICATIONS (23 ± 5°C)			
Measurement	Range	Resolution	Accuracy
m/s	0.4 - 35.0 m/s	0.1 m/s	± ( 2% + 2d )
km/h	1.4 - 126.0 km/h	0.1 km/h	
mile/h	0.9 - 78.3 mph	0.1 mile/h	
knots	0.8 - 68.0 knots	0.1 knots	
ft/min	79 - 6890 ft/min	1 ft/min	
Temperature(°C)	0 °C to 60 °C	0.1 °C	± 0.8 °C
Temperature(°F)	32 °F to 140 °F	0.1 °F	± 1.5 °F
<i>Note:</i> m/s - meters per second    km/h - kilometers per hour    ft/min - feet/per minute mile/h - miles per hour    knots - nautical miles per hour (international knot)			

\* Appearance and specifications listed in this brochure are subject to change without notice. 0510-YK80AM

ANEXO B.  
TUBO PITOT CON MANÓMETRO DIFERENCIAL

**EXTECH**  
INSTRUMENTS

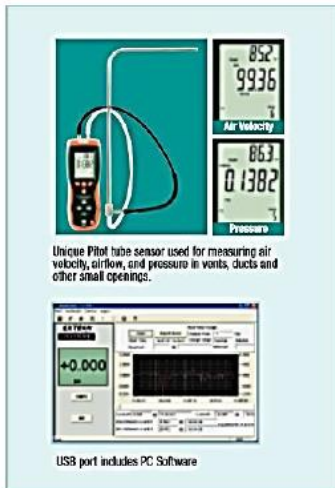
Experience the **Extech**  
**Advantage**  
PRODUCT DATASHEET

## Pitot Tube Anemometer + Differential Manometer

 **Pitot Tube measures Air Velocity/Airflow**  
*In difficult-to-reach or tight locations where a vane anemometer won't fit*

### Features:

- Simultaneous display of Pressure, Air Velocity or Air Flow plus Temperature
- $\pm 0.7252$ psi range
- 5 selectable units of pressure measurement
- Max/Min/Avg recording and Relative time stamp
- Data Hold and Auto power off functions
- Large LCD display with backlighting
- Zero function for offset correction or measurement
- Store/Recall up to 99 readings in each mode
- USB port includes software
- Includes Windows® compatible software with cable, 9V battery, pitot tube with two 33.5" (85cm) connection hoses, and hard carrying case



Specifications	Range	Max Resolution	Basic Accuracy
<b>Pressure</b>			
psi	0.7252psi	0.0001psi	$\pm 0.3\%$ FS
mbar	50.00mbar	0.01mbar	$\pm 0.3\%$ FS
mmH <sub>2</sub> O	20.07mmH <sub>2</sub> O	0.01mmH <sub>2</sub> O	$\pm 0.3\%$ FS
mmH <sub>2</sub> O	509.5mmH <sub>2</sub> O	0.1mmH <sub>2</sub> O	$\pm 0.3\%$ FS
Pa	5000Pa	1Pa	$\pm 0.3\%$ FS
Repeatability	$\pm 0.2\%$ (Max. $\pm 0.5\%$ FS)		
Linearity/Hysteresis	$\pm 0.2\%$ FS		
Maximum Pressure	10psi		
Response Time	0.5s typical		
<b>Air Velocity</b>			
f/min	200 to 15733	1	$\pm (1\%$ FS + 50) @ 984.2 to 1988.5 f/min
m/s	1 to 80.00	0.01	$\pm (1\%$ FS + 50) @ 5 to 10.0 m/s
km/h	3.5 to 288.0	0.1	$\pm (1\%$ FS + 50) @ 17.9 to 36.0 km/h
MPH	2.25 to 178.66	0.01	$\pm (1\%$ FS + 50) @ 11.2 to 22.4 MPH
knots	2.0 to 154.6	0.1	$\pm (1\%$ FS + 50) @ 9.7 to 19.4 knots
<b>Air Flow</b>			
CFM	0 to 99,999	0.001	$\pm 3\%$ rdg
CMM	0 to 99,999	0.001	$\pm 3\%$ rdg
<b>Temperature</b>			
°F	32.0 to 122.0°F	0.1°	$\pm 3\%$ F
°C	0 to 50°C	0.1°	$\pm 1.5\%$ C
<b>Dimensions/Weight</b>			
Meter	8.2 x 2.9 x 1.9" (210 x 75 x 50mm) / 12oz (340g)		
Pitot Tube	15.4 x 7.7" (390 x 195mm) / 7.2oz (204g)		

### Ordering Information:

HD350 .....Pitot Tube Anemometer + Differential Manometer



Specifications subject to change without notice.  
Copyright © 2009 - 2015 Flir Systems, Inc. All rights reserved including the right of reproduction in whole or in part in any form.

72015 - 01





Anemometro digital portatil  
con sensor de temperatura,  
0.4 a 35.0 m/s - 0.1 m/s,  
m/s, ft/min, km/h, MPH,  
knots, RS232, 0 a 60 °C/°F, ,  
lutron, Entrega: Inmediata

[Catalogo](#)

[Agregar otros productos](#)  
[Agregar mas anemometros](#)

<b>Precios en Pesos Colombianos</b>	<b>SubTotal : \$</b>	3.474.412
	<b>Des. %: \$</b>	
	<b>Sub. Con Des.: \$</b>	3.474.412
	<b>IVA : \$</b>	660.138
	<b>Flete: \$</b>	0
	<b>Total : \$</b>	4.134.550

### Como comprar y como pagar

<b>* Forma de pago y pedido:</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Forma de pago</th> <th>Entrega o envio <small>≡ Envíos a Toda Colombia y América</small></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Efectivo (Solo Bogota, Cali, Medellín) Contra entrega</td> <td>Inmediata</td> </tr> <tr> <td>Transferencia electrónica o Giro del exterior *</td> <td>Inmediata (EXWORK)</td> </tr> <tr> <td>Consignación en efectivo *</td> <td>Inmediata</td> </tr> <tr> <td>Consignación en cheque *</td> <td>Después de confirmación de canje</td> </tr> <tr> <td>Crédito (Únicamente personas jurídicas) Bajo estudio de aprobación</td> <td>Inmediata previa aprobación</td> </tr> </tbody> </table>	Forma de pago	Entrega o envio <small>≡ Envíos a Toda Colombia y América</small>	Efectivo (Solo Bogota, Cali, Medellín) Contra entrega	Inmediata	Transferencia electrónica o Giro del exterior *	Inmediata (EXWORK)	Consignación en efectivo *	Inmediata	Consignación en cheque *	Después de confirmación de canje	Crédito (Únicamente personas jurídicas) Bajo estudio de aprobación	Inmediata previa aprobación
	Forma de pago	Entrega o envio <small>≡ Envíos a Toda Colombia y América</small>											
Efectivo (Solo Bogota, Cali, Medellín) Contra entrega	Inmediata												
Transferencia electrónica o Giro del exterior *	Inmediata (EXWORK)												
Consignación en efectivo *	Inmediata												
Consignación en cheque *	Después de confirmación de canje												
Crédito (Únicamente personas jurídicas) Bajo estudio de aprobación	Inmediata previa aprobación												
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>Pagos con datafono en nuestra sede en Bogotá.</b></p> </div> </div>													
<p>* Cuenta Ahorros No. 052 422 488 91, Bancolombia, Bogotá, Colombia. Titular de la cuenta IMPORTADORA IAI SAS, NIT: 900.208.179-9.</p> <p>Notifique su orden de compra y Consignación indicando la <b>fecha y valor consignado</b> <a href="#">aquí</a>   <a href="#">Notifique su pago y orden</a>  </p>													
<b>* Tiempo de entrega:</b>	Inmediata en Bogota y 1 día otras ciudades. Todos nuestros productos están sujetos a venta previa												
<b>* Forma de envio:</b>	Hasta la puerta de su casa en Bogota y Cali y Correo certificado para ciudades diferentes. Se notifica No. de guía a su correo registrado.												
<b>* Importante:</b>	Los precios no incluyen la instalación, ni el diseño de la misma, ni el certificado de trazabilidad (Salvo se exprese literalmente en la descripción de los mismo) El Tiempo de entrega se especifica la descripción de cada ítem, SALVO PREVIA VENTA.												
<b>* Vigencia:</b>	Los precios de esta cotización podrán variar según la TRM de liquidación, por favor rectifiquelos el día de su orden de compra												

---

Oficina Bogotá: Calle 76 No. 20B-24 Of: 207

---



**Bogotá: (1) 212 90 44   Cali: (2) 891 24 78**

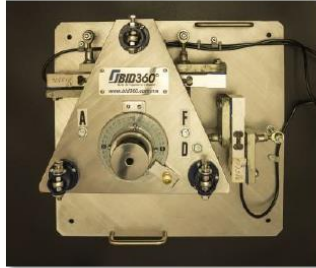
Copyright 2008-2011 

---

ANEXO C.  
BALANZA AERODINÁMICA

## Balanza Aerodinámica de 3 componentes

SD-92



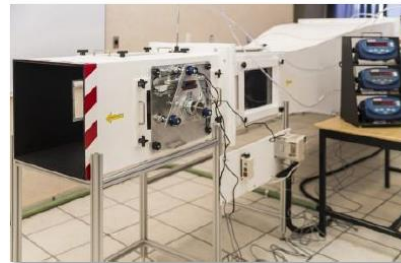
Rango en fuerza vertical: -10 a +10 kg  
Rango en fuerza horizontal: -10 a +10 kg  
Rango en Momento Aerodinámico -0.762 a +0.762 kg m

Incluye transportador para medida del ángulo de ataque y mecanismo de fijación para sujeción del modelo



Montaje de modelos por medio de varilla de acero de 3/8"

Montaje lateral en la sección de prueba del túnel de viento con salida a indicadores digitales



Mayores Informes:  
Fausto H. Rodríguez Ibarra  
Correo-e: [ingfaustorodriguez@gmail.com](mailto:ingfaustorodriguez@gmail.com)  
Cel: 044 55 18 68 38 83  
Sitio Web: [www.BID360.mx](http://www.BID360.mx)

**BID360°**



ANDRES CAMILO ARIAS RIVEROS &lt;andres.arias@estudiantes.uamerica.edu.co&gt;

---

## Balanza Aerodinámica

---

**Fausto Humberto Rodríguez Ibarra** <ingfaustorodriguez@bid360.mx>  
Para: andres.arias@estudiantes.uamerica.edu.co

23 de mayo de 2017, 21:25

**Estimado Andrés,**

El costo de la balanza aerodinámica de 3 componentes que tenemos en existencia es de 12,800 USD, mas impuestos y flete, lo que incluye este precio es: la balanza, su certificado de calibración, estuche de transporte, software básico de adquisición de datos y computadora con el software precargado. El tiempo de puesta en embarque es de 50 días hábiles o menos, dependiendo de la producción y existencias del producto

El software básico entrega las cadenas de datos de las mediciones de fuerzas verticales (2) y fuerza de resistencia al avance (1)

Podemos elaborar software más completo sobre requerimientos personalizados para obtener gráficas  $C_l$  vs  $\alpha$ ,  $C_d$  vs  $\alpha$  y  $C_m$  vs  $\alpha$  por mencionar un ejemplo

Te anexo la ficha técnica

Si necesitas más información no dudes en solicitarla


Quedo a tus órdenes

Saludos

Atte.

**Fausto H. Rodríguez Ibarra**  
Director Técnico  
Buró de Ingeniería y Diseño 360  
[www.BID360.mx](http://www.BID360.mx)

---

 **Balanza Aerodinámica de 3 componentes.pdf**  
346K

ANEXO D.  
CÁMARA DE ALTA VELOCIDAD

**Hasta 2420 imágenes por segundo / Manejo sencillo / USB 3.0 / Software incluido /  
Plug and Play / Compacto y robusto**

La cámara de alta velocidad PCE-HSC 1660 es ideal para grabaciones sencillas de movimientos lentos en la industria y la investigación. La cámara de alta velocidad permite grabar con una frecuencia de hasta 2420 imágenes por segundo. La cámara de alta velocidad destaca por su construcción compacta y su manejo sencillo. La conexión al ordenador o portátil se realiza a través de una conexión USB 3.0. El software que se incluye en el envío detecta automáticamente la cámara de alta velocidad, y una vez instalado los drivers correspondientes podrá empezar a grabar imágenes. La cámara de alta velocidad PCE-HSC 1660 usa un sensor de imagen CMOS con una profundidad de memoria de 10 bit. Esto permite realizar grabaciones en blanco y negro con una resolución de 1280 x 1024. Puede montar la cámara de alta velocidad PCE-HSC 1660 sobre un trípode.

- Conexión USB 3.0
- 1,3 Megapíxeles
- Máximo 2420 FPS (imágenes por segundo)
- 10 Bit CMOS
- Plug and Play
- Control a través del PC
- Conexión de disparo (Trigger)
- Rosca para montaje sobre trípode

**Especificaciones técnicas de la cámara de alta velocidad PCE-HSC 1600**

CMOS	1,3 Megapíxeles
Resolución máxima	1280 x 1024
Cuota de grabación máxima	2420 FPS
Resolución / Cuota de grabación	1280 x 1024 / 210 FPS 1024 / 1024 / 260 FPS 1024 x 2768 / 346 FPS 640 x 480 / 825 FPS 512 x 512 / 950 FPS 256 x 256 / 2420 FPS
Profundidad de píxeles	10 Bit CMOS
Tamaño píxeles	4.8 µm por píxel
Memoria	A través del ordenador conectado
Alimentación	A través del puerto USB 3.0
Interfaz	USB 3.0
Trigger	Externo
Conexión del objetivo	C-Mount
Material de la carcasa	Aluminio
Dimensiones	80 x 74 x 40 mm
Peso	180 g (sin objetivo)
Condiciones ambientales	0 ... +40 °C máx. 80 % H.r.

Condiciones de almacenaje -20 ... +60 °C  
máx. 95 % H.r.

**Especificaciones técnicas de la lámpara LED para la cámara de alta velocidad PCE-HSC 1660**

Potencia	6 x 3 W LED
Filtro	5800 K Filtro anticongelante 3200 K Filtro Amber
Función graduación de luz	Sí
Alimentación	Fuente de alimentación 100 ... 240 V AC Salida 12 V / 2 A
Acumulador	7.4 V @ 6000 mAh
Duración del acumulador con una carga	Aprox. 150 minutos

**Contenido de envío**

- 1 x Cámara de alta velocidad PCE-HSC 1660
- 1 x Lámpara LED
- 1 x Cable USB 3.0
- 1 x Disparador
- 1 x Maletín
- 1 x Software
- 2 x Mini trípodes
- 1 x Instrucciones de uso





Término de búsqueda  
 Usted está aquí: ▶ Inicio (/espanol/) ▶ Su carro de la compra



## Su carro de la compra

(1.) LIEFERUNG2 / VON PCE IBERICA S.L. INSTRUMENTACIÓN



[\(/espanol/index.htm?\\_sessionauth=9Y8N3X6S2297K06V&action=ShowItem&\\_artnr=3221390&\\_wknr=0\)](#)

Cámara de alta velocidad PCE- HSC 1660 [\(/espanol/index.htm?\\_sessionauth=9Y8N3X6S2297K06V&action=ShowItem&\\_artnr=3221390&\\_wknr=0\)](#)

La cámara de alta velocidad PCE-HSC 1660 es ideal para grabaciones sencillas en la industria y la investigación. La cámara de alta velocidad permite grabar hasta 2420 imágenes por segundo. La cámara de alta velocidad destaca por compacta y su manejo sencillo. - CMOS: 1,3 Megapíxeles - Resolución máx.: grabación máxima: 2420 FPS

Gesamtpreis Artikel

ZEIGE PA

Versanddetails werden nicht angezeigt

Total sin IVA

### Einstellungen

Notas de pedido:


GUARDAR ✓

### Importe total

ACTUALIZAR

Total sin IVA  
 IVA 21,00%

3.303,90 €  
 693,82 €

**Importe total****3.997,72 €**TERMINAR PEDIDO 

SOLICITE UNA OFERTA / PRESUPUESTO

Condiciones generales (/espanol/impreso)	Privacidad (/espanol/privacidad-win_6.htm)
Términos (/espanol/terminos)	Contacto (/espanol/contacto)
Newsletter (/espanol/newsletter-win_11.htm)	Cuenta (/espanol/cuenta)
	Reciclaje de baterías (/espanol/reciclaje-de-bater_as-win_12.htm)
Envíos y Devoluciones (/espanol/env_os-y-devoluciones-win_13.htm)	Proceso de compra (/espanol/proceso-de-compra-win_2.htm)
	Ferías (/espanol/ferias-win_3.htm)
Descargas (/espanol/descargas-win_4.htm)	

Copyright ©2017 PCE Deutschland GmbH

PCE Instruments™, PCE Inst.™ and PCE Instrumentation™ (Registration at PONS (Alicante, Spain)): No. 008985665 ([https://www.pce-instruments.com/f/t/common/pce-inst\\_application\\_form.pdf](https://www.pce-instruments.com/f/t/common/pce-inst_application_form.pdf)), 008985632 ([https://www.pce-instruments.com/f/t/common/pce-instruments\\_application\\_form.pdf](https://www.pce-instruments.com/f/t/common/pce-instruments_application_form.pdf)), 008985624 ([https://www.pce-instruments.com/f/t/common/pce-instrumentation\\_application\\_form.pdf](https://www.pce-instruments.com/f/t/common/pce-instrumentation_application_form.pdf)) are registered trademarks and PCE Instruments and other names of PCE products referenced herein are trademarks or registered trademarks of PCE Holding GmbH.

ANEXO E.  
GENERADORA DE HUMO



# FOGSTORM™ 1700 HD

Máquina de niebla profesional de alto rendimiento



## Instrucciones de usuario

A.D.J. Supply Europe  
B.V.  
Junostraat 2  
6468 EW Kerkrade  
Países Bajos  
[www.americandj.eu](http://www.americandj.eu)

## ESPECIFICACIONES

<b>Modelo:</b>	<b>Fog Storm HD 1700™</b>
<b>ESPECIFICACIONES:</b>	
<b>TENSIÓN*:</b>	120V~50/60Hz o 230V~50Hz
<b>PESO:</b>	22 lb / 10 Kg.
<b>DIMENSIONES:</b>	17,25" x 11" x 11,5" / 435 x 280 x 290 mm
<b>DISYUNTOR:</b>	120v = 20A (disyuntor sin fusible) / 230v = 10A (disyuntor sin fusible)
<b>TIEMPO DE CALENTAMIENTO:</b>	7 minutos
<b>CAPACIDAD DEL DEPÓSITO:</b>	5 litros extraíble
<b>SALIDA:</b>	15.000 pies cúbicos por minuto
<b>TIPO DE LÍQUIDO:</b>	American DJ Fog Juice™ con base de agua
<b>CICLO DE TRABAJO:</b>	No exceder las 6 horas encendido.
<b>CALENTADOR:</b>	1.700 vatios
<i>*La tensión se ajusta de fábrica y no puede cambiarse</i>	

**Tenga en cuenta:** Que las especificaciones y mejoras en el diseño de esta unidad, así como este manual, están sujetos a cambio sin previo aviso por escrito.

A.D.J. Supply Europe B.V.  
Junostraat 2  
6468 EW Kerkrade  
Países Bajos  
[www.americandj.eu](http://www.americandj.eu)



**CYC ELECTRÓNICA**

Teléfonos: 8804370 | 3736133 | CRA 6 # 15-91 Cali  
www.cycelectronica.com

## FOG STORM 1700HD



**Referencia:** FOG1700HD  
**Precio:** \$730,000  
**Marca:** AMERICAN DJ  
**Disponibilidad:** Disponible

Maquina de humo de 1700W DMX

S

### Formas de Pago

Para efectuar la compra solo debe enviarnos un correo electrónico a [ventas@cycelectronica.com](mailto:ventas@cycelectronica.com), en el cual se especifique los productos que de la cotización enviada previamente desea comprar. Para realizar el pago debes consignar en cualquiera de nuestras cuentas bancarias:

- Bancolombia cuenta de ahorros No 74994181967 a nombre de Carlos Andres Torres Restrepo o CyC Electrónica.
- Davivienda cuenta de ahorros No 018870001494, a nombre Carlos Andrés Torres Restrepo.

Todos nuestros envíos se realizan por empresas transportadoras reconocidas en todo el país, lo que garantiza un plazo de entrega de 24 a 48 horas en cualquier parte del país desde la salida de nuestro almacén.

ANEXO F.  
TERMÓMETRO DIGITAL

## EasyView™ Dual Input Thermometers

**Choice of Basic Type K or Datalogger model**  
Datalogger model compatible with 7 Types of Thermocouples

### Features:

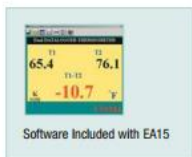
- Compact and rugged design features large backlit display
- Displays [T1 plus T2] or [T1-T2 plus T1] or [T1-T2 plus T2]
- Selectable units of °F, °C, K (Kelvin)
- Wide temperature range with 0.1°/1° resolution
- Timer function displays elapsed time plus the time when MIN and MAX readings are taken
- OFFSET key used for zero function to make relative measurements
- Data Hold function freezes reading on display
- Auto Power off to save battery life
- Low battery and overrange indication
- Records Max/Min readings for later recall
- Complete with built-in stand, protective holster, two Type K bead wire temperature probes (-22 to 572°F/-30 to 300°C), and 6 AAA batteries



### Model EA10

#### Features:

- Basic Type K Dual input



Software Included with EA15

### Model EA15

#### Additional Features:

- Dual input accepts Types J, K, E, T, R, S, and N thermocouples
- Built-in datalogger stores up to 8800 data sets
- RS-232 port to transfer data to PC for analysis
- Real Time Clock
- Includes Windows® 95/98/NT/2000/ME/XP compatible software and cable

Specifications	EA10	EA15
Thermocouple Type	EA10	EA15
J	—	-200 to 1994°F (-150 to 1090°C)
K	-200 to 1999°F (-200 to 1360°C)	-200 to 1999.9°F (-150 to 1370°C)
T	—	-200 to 752°F (-150 to 400°C)
E	—	-200 to 1598°F (-150 to 870°C)
R	—	35 to 1999.9°F (2 to 1767°C)
S	—	35 to 1999.9°F (2 to 1767°C)
N	—	-200 to 1999.9°F (-150 to 1300°C)
Resolution	0.1°	0.1°
Basic Accuracy	±0.3% (+2°F/+1°C)	±0.05% rdg (+1.5°F/+0.75°C) Types J,K,E,T,N ±0.05% rdg (+4°F/+2°C) Types R,S
Dimensions	6 x 2.8 x 1.5" (152 x 72 x 37mm)	6 x 2.8 x 1.5" (152 x 72 x 37mm)
Weight	8.3oz (235g)	8.3oz (235g)

### Ordering Information:

EA10 ..... EasyView™ Dual K Thermometer  
EA10-NIST ..... EasyView™ Dual K Thermometer with NIST Certificate  
EA15 ..... EasyView™ Temperature Datalogger  
EA15-NIST ..... EasyView™ Temperature Datalogger w/ NIST Certificate  
409996 ..... Soft Vinyl Pouch Carrying Case





# COTIZACIÓN

F1-S1-P01 Versión 1



FECHA: 23/05/2017  
EMPRESA: ARIAS RIVEROS ANDRES CAMILO  
COTIZADO A: ANDRES CAMILO ARIAS RIVEROS  
DIRECCIÓN: CRA 8 # 47 97 APTO 602  
CIUDAD: BOGOTA DEPTO: NIT: 1122650918  
CEL: 321-2541646  
TEL: 321-2541646  
FAX: N° COTIZACIÓN 18345E

ITEM	Detalles de producto	Cant.	Precio Unida	Total
1.	EA15 EA15 EASYVIEW DUAL INPUT THERM (REGISTRADOR DE DATOS DE TEMPERATURA DE ENTRADA DOBLE EASYVIEW™. COMPATIBLE CON LOS TIPOS 7 DE TERMOPARES)	1	COS 946,000	COS 946,000
2.	EA15-NIST EA15-NIST THERMOMETER, K, W/NIST EA15 (REGISTRADOR DE DATOS DE TEMPERATURA DE ENTRADA DOBLE EASYVIEW™. COMPATIBLE CON LOS TIPOS 7 DE TERMOPARES CON CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN NIST)	1	COS 1,282,000	COS 1,282,000
3.	TPK 04 TECPEL TERMOCUPLA TIPO CONTACTO RECTA TPK 04 TECPEL	1	COS 180,000	COS 180,000
			Subtotal	COS 2,408,000
			IVA	COS 457,520
			Total	COS 2,865,520

#### OBSERVACIONES

VALIDEZ DE OFERTA: 30 días  
FECHA DE ENTREGA: 30/06/2017  
FORMA DE PAGO: DE CONTADO  
RESPONSABLE DE FLETE: El cliente  
ASESOR COMERCIAL: Carlos Gil

ABONO:  
SALDO: COS 2,865,520

**\*\* DEPOSITAR EN BANCOLOMBIA CTA CTEN° 072-05689503 O EN EL CITYBANK CTA CTE N° 100 -5554256- A NOMBRE DE TERMOCUPLAS S.A. \*\***

CARRA.50E N° 10 SUR 139 PBX: (574) 2 55 99 66 - FAX: (057) 255 91 35 NIT 800 056 895 - 8  
termocuplas@termocuplas.com.co  
www.termocuplas.com.co  
Medellin - Colombia

ANEXO G.  
MOTOR

## Model: VADS-72F26-08

Vane Axial Direct Drive Inline Fan with Sound Trap

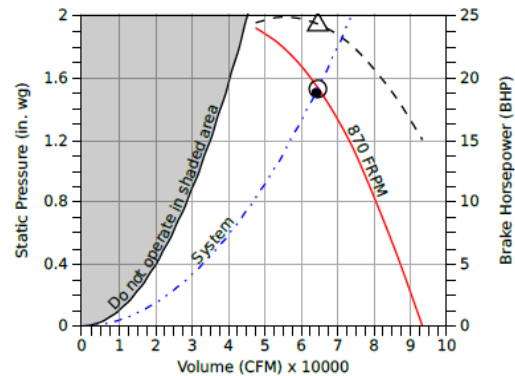
**Standard Construction Features:** Tubular painted steel housing with turning vanes. Axial propeller, cast aluminum, manually adjustable blades. Direct driven motor in the airstream.

Dimensional	
Weight w/o accessories (lbs)	3383

Fan Configuration	
Drive type	Direct

Performance	
Requested Volume (CFM)	64,000
Actual Volume (CFM)	64,538
External SP (in. wg)	1.5
Total SP (in. wg)	1.53
Fan RPM	870
Operating Power (bhp)	24.2
Startup Power (bhp)	24.2
Air Stream Temp (F)	65
Start-up Temp (F)	70
Air Density (lbs/ft <sup>3</sup> )	0.055
Elevation (ft)	8792
Static Efficiency (%)	64
Outlet Velocity (ft/min)	2,220

Motor	
Enclosure	ODP
Size (hp)	25
V/C/P	460/60/3
NEC FLA (Amps)	34



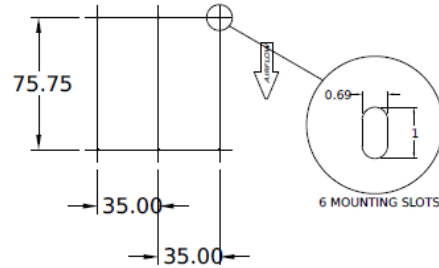
External SP	1.5 in. wg
Direct Drive RPM Adjustment	0.03 in. wg
Total SP	1.53 in. wg

- Fan curve
- - - Brake horsepower curve
- Operating point at External SP
- Operating point at Total SP
- △ Operating Bhp point
- Max system curve
- · - · - System curve

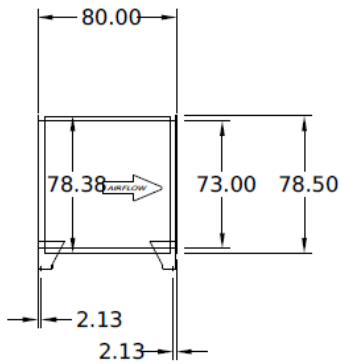
### Sound

	Octave Bands (hz)								LwA	dBA	Sones
	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
Inlet	95	97	97	93	90	89	84	88	96	85	53

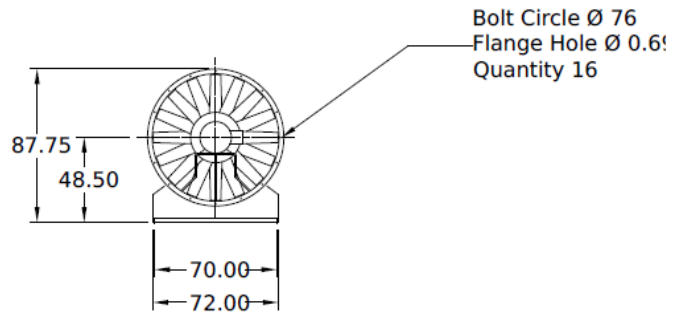
FLA - based on tables 150 or 148 of National Electric Code 2002. Actual motor FLA may vary, for sizing thermal overload, consult factory.



FOOTPRINT VIEW



SIDE VIEW



END VIEW

END VIEW SHOWS FROM OUTLET END OF UNIT

\*All dimensions are in inches.



**QUOTE 1-QT-012821-17-87**

Calle 128A No. 57 C 13  
Tel: 6179140 - Fax: 2267329  
[www.saeg.com](http://www.saeg.com)  
8012 NW 68th street, Miami, FL, 3316  
Tel: 305-718-8146 - Fax: 305-718-957

**To:** FUNDACION UNIVERSIDAD DE LA AMERICA  
**Attn:** Ing. ANDRES CAMILO ARIAS  
**Tel:**  
**Ref:** VENTILADOR FLUJO MIXTO

**Date:** 05-jun-17  
**Country:** BOGOTA - COLOMBIA

We are pleased to quote the following material as per your kind request:

Item	Qty	Description	Unit Price	Extended Price
		GREENHECK		
1	1	VENTILADOR 1 MODEL: VADS-72F26-08-C250, 870 FRPM, 64672 CFM, SP 1.532 IN. WG, DISCHARGE: HORIZONTAL, MOUNTING BRACKETS-BASE MOUNT, TEAO, 460/3/60, 25 HP, NEMA PREMIUM  SEE ATTACHMENT	\$35.560,39	\$35.560,39
			<b>SubTotal</b>	<b>USD</b> \$35.560,39
<b>TIEMPO DE ENTREGA 11-12 SEMANAS</b>				
<b>TOTAL EN DOLARES AMERICANOS</b>				
			<b>Total</b>	<b>USD</b> \$35.560,39
<b>DDP - BOGOTA ZONA FRANCA</b>				

TERMINOS Y CONDICIONES COMERCIALES  
FORMAS DE PAGO:

1. 50% ANTICIPO DEL VALOR DE LA ORDEN PARA SER PROCESADA, EL CUAL SE LIQUIDARA A LA TRM VIGENDE EL DIA QUE SE RECIBE Y APRUEBA LA ORDEN DE COMPRA POR PARTE DE SAEG. 50% RESTANTE CONTRA AVISO DE NACIONALIZACIÓN DE EQUIPOS, EL CUAL SE LIQUIDARA A LA TRM REGISTRADA EN LA DECLARACION DE IMPUESTOS DE NACIONALIZACION.
2. LOS PRECIOS PRESENTADOS NO INCLUYEN IVA.
3. PARA EQUIPO CON DISPONIBILIDAD INMEDIATA (STOCK SAEG COLOMBIA) EL PAGO DE LA ORDEN DEBE SER 100% CONTADO.

LA CANCELACIÓN DE ORDENES DE COMPRA DESPUÉS DE 5 DIAS DE RECIBIDA TENDRA UN CARGO DEL 15% POR RE-STOCKING DE LOS EQUIPOS. ESTE MONTO SERA DEBITADO DE SU ANTICIPO.

OTROS

1. SAEG NO ASUMIRA COSTOS POR DAÑOS PRESENTADOS DURANTE EL TRANSPORTE LOCAL OCASIONADOS POR ROTURAS Y MALA MANIPULACIÓN, SALVO ACLARACIÓN EXPRESA DEL TRANSPORTADOR AL MOMENTO DEL RECIBO DE LOS EQUIPOS.
2. TODO CAMBIO EN LA ORDEN DE COMPRA EN CANTIDADES O ESPECIFICACIONES DE LOS ELEMENTOS O EQUIPOS, DEBEN SER NOTIFICADOS POR EL CLIENTE EN UN TERMINO NO SUPERIOR A 5 DIAS DE PROCESADA LA ORDEN Y SERA RE-LIQUIDADA, CON CARGOS AL CLIENTE.



**QUOTE 1-QT-012821-17-87**

**To:** FUNDACION UNIVERSIDAD DE LA AMERICA  
**Attn:** Ing. ANDRES CAMILO ARIAS  
**Tel:**  
**Ref:** VENTILADOR FLUJO MIXTO

Calle 128A No. 57 C 13  
Tel: 6179140 - Fax: 2267329  
[www.saeg.com](http://www.saeg.com)  
8012 NW 68th street, Miami, FL, 3316  
Tel: 305-718-8146 - Fax: 305-718-957

**Date:** 05-jun-17  
**Country:** BOGOTA - COLOMBIA

---

3. LOS TIEMPOS DE ENTREGA ESTIMADOS EN LA PRESENTE COTIZACIÓN ESTAN DE ACUERDO A LO ESTIPULADO POR CADA UNA DE LAS FABRICAS. LOS CAMBIOS Y DEMORAS QUE SE PUEDAN PRESENTAR OCASIONADAS POR SITUACIONES AJENAS A SAEG ENGINEERING GROUP, NO IMPLICAN MODIFICACIONES A LAS CONDICIONES COMERCIALES.

4. LOS TIEMPOS DE ENTREGA SON CONTADOS A PARTIR DE HABER RECIBIDO LA ORDEN DE COMPRA DEBIDAMENTE DILIGENCIADA ACEPTANDO Y CUMPLIENDO LOS TERMINOS COMERCIALES ESTABLECIDOS Y RELACIONANDO EL NUMERO DE LA COTIZACIÓN.

VIGENCIA

1. LA VIGENCIA DE ESTA COTIZACION ES A UN TERMINO DE TREINTA (30) DIAS CONTADOS A PARTIR DE LA FECHA DE ENVIO DE LA MISMA.

**JEFERSON HERNANDEZ**  
**SAEG COLOMBIA**

ANEXO H.  
SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

## Mi Carro de Compras (Pesos Colombianos)

NI ofrece envío estándar gratis! El envío estándar gratis será aplicado automáticamente en nuevas cotizaciones y órdenes de compra.

Estos precios no incluyen los impuestos y derechos de importación, los cuales deben ser pagados por separado por la empresa importadora (si aplica). Para obtener más información, por favor contáctenos a [info.latam@ni.com](mailto:info.latam@ni.com)

Número de Parte	Descripción	Envío estimado	Precio Unitario	Cant.	Total	
785188-01 ( <a href="http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/210836">http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/210836</a> )	NI 9220 Spring, 16-Ch voltage, +10V, 16-bit, 100kS/s/ch AI module	16 - 24	COP 6,533,000.00	<input type="text" value="1"/>	COP 6,533,000.00	( <a href="http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/210836">nios.store?owf=N&amp;action=view_cart</a> )
779567-01 ( <a href="http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/987482">http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/987482</a> )	NI 9940 Backshell for 36-pos connector block (qty 1)	9 - 14	COP 131,000.00	<input type="text" value="1"/>	COP 131,000.00	( <a href="http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/987482">nios.store?owf=N&amp;action=view_cart</a> )
CD5374376 ( <a href="http://ohm.ni.com/advisors/retrieve?configid=CD5374376&amp;readonly=true">http://ohm.ni.com/advisors/retrieve?configid=CD5374376&amp;readonly=true</a> )	Sistema Generado por un Configurador No. de Configuración:   Ver Detalles	16 - 24	COP <del>46,496,130.00</del> COP 14,991,360.50	<input type="text" value="1"/>	COP 14,991,360.50	( <a href="http://ohm.ni.com/advisors/retrieve?configid=CD5374376&amp;readonly=true">nios.store?owf=N&amp;action=view_cart</a> )
CD5376237 ( <a href="http://ohm.ni.com/advisors/retrieve?configid=CD5376237&amp;readonly=true">http://ohm.ni.com/advisors/retrieve?configid=CD5376237&amp;readonly=true</a> )	Sistema Generado por un Configurador No. de Configuración:   Ver Detalles	16 - 24	COP <del>26,136,130.00</del> COP 26,021,360.50	<input type="text" value="1"/>	COP 26,021,360.50	( <a href="http://ohm.ni.com/advisors/retrieve?configid=CD5376237&amp;readonly=true">nios.store?owf=N&amp;action=view_cart</a> )

**Añada productos al carro**

<b>Total de Artículos:</b>	4
<b>Subtotal:</b>	COP 47,676,721.00
<b>Envío en CO:</b>	<b>Gratis</b>
<b>Total de la Orden:</b>	COP 47,676,721.00
<b>Usted Ahorra:</b>	<b>COP 229,539.00 (0%)</b>

Los Términos de Uso y Política de Privacidad de NI

**Pagar** ([https://sine.ni.com/apps/utf8/nios.checkout?loc=es-CO&action=checkout&p\\_metric\\_code=3000&src=checkout](https://sine.ni.com/apps/utf8/nios.checkout?loc=es-CO&action=checkout&p_metric_code=3000&src=checkout))

Garantice su precio por 30 días ([aprenda más](#))

Solicitar una Cotización ([niwq.auto\\_create\\_quote?p\\_header\\_id=17577319&loc=es-CO&src=NIOS](http://www.ni.com/contact-us/))

### PRODUCTOS

Estado del pedido e historial  
(<http://www.ni.com/status/>)

Comprar por número de parte  
([http://sine.ni.com/apps/utf8/nios.store?action=purchase\\_form](http://sine.ni.com/apps/utf8/nios.store?action=purchase_form))

Activar un producto  
(<http://sine.ni.com/myproducts/app/main.xhtml?lang=en>)

Información de compra y pago  
(<http://www.ni.com/howtobuy/esa/>)

### SOPORTE

Enviar una solicitud de servicio  
(<https://sine.ni.com/sr/myServiceRequests>)

Manuales (<http://www.ni.com/manuals/esa/>)

Controladores  
(<http://www.ni.com/downloads/drivers/esa/>)

Alliance Partners  
(<http://www.ni.com/alliance/esa/>)

### COMPAÑÍA

Sobre sucursal de National Instruments  
(<http://www.ni.com/company/esa/>)

Sobre sucursal de National Instruments  
Colombia (<http://colombia.ni.com/compania>)

Eventos (<http://www.ni.com/eventos/>)

Carreras (<http://www.ni.com/careers/>)

Comuníquese con NI  
(<http://www.ni.com/contact-us/>)

### AVANZANDO JUNTOS

NI prepara a ingenieros y científicos  
resuelvan los desafíos de un mundo  
vez más complejo.

(<http://www.facebook.com/NI>)

(<http://twitter.com/NIglobal>)

(<http://nifeeds.ni.com/f/news-es>)

(<http://www.youtube.com/ni latinoame>)

(<http://www.linkedin.com/company/3-trk=tyah>)




ANEXO I.  
MALLAS DE ESTABILIZACIÓN DE FLUJO

Sub-Total: \$353.800 co/car

Recuerda que el valor final de tu compra dependerá de la dirección de entrega.

Comprar

Colmallas  
Malla Cedazo Huecos 3x3 pulgadas 1...  
SKU:291760  
(homecenter-co/product/291760/Malla-Cedazo-Huecos-3x3-pulgadas-1.20x30m)x

Retira tu compra en tienda

\$295.900 Unidad\$295.900

Ángulo 6 metros 3 /16 x 2 pulgadas...  
SKU:89829  
(homecenter-co/product/89829/Angulo-6-metros-3-16-x-2-pulgadas-g-50)x

Envío a domicilio  
Retira tu compra en tienda

\$57.900 .\$57.900

ANEXO J.  
LAMINA COLD ROLLED



Bogotá, Junio 06 de 2017

**SEÑORES**  
**UNIVERSIDAD DE AMERICA**  
Cristian Peña  
Correo: ca.pena1020@gmail.com  
Tels. 318 5729465

Ref: **Cotización de materiales**

Apreciado (s) señor (es), atendiendo a su amable solicitud tenemos el gusto de cotizarle los siguientes productos.

SUMINISTRO DE MATERIALES					
No	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT	VR UNITARIO	VR TOTAL
1	Lamina CR 1,22x2,44 Cal 14 (1,90mm)	UNIDAD	27	97.678	2.637.306
<b>OBSERVACIONES:</b>			<b>SUBTOTAL</b>		2.637.306
			<b>IVA</b>	19%	501.088
			<b>TOTAL</b>		3.138.394

**CONDICIONES COMERCIALES**

Forma de pago: Contado  
Validez de la oferta: 3 días  
Lugar de entrega: Bogotá  
Tiempo de entrega: 24 a 48 horas despues del pago.

**NOTA**

Somos autoretenedores Res.1806 Dic 30/88  
Somos grandes contribuyentes, agente retenedor IVA Art. 9 2/223/95  
La siguiente cotización no nos compromete a reservar el material

**\* No incluye transporte, no incluye descargue**

**\* En caso de tratarse de material pesado o extradimensionado, si lo reclaman en nuestra bodega favor enviar el vehículo adecuado (Desenvarillado, no furgón) ya que se carga con puente grúa y no manualmente.**

**PAGOS (Cuentas Corrientes)**

Banco de Bogotá 054-05008-3 formato recaudo universal  
Bancolombia 046-053581-08 formato consignación en efectivo  
Banco Davivienda 4624-69999-603 formato de transacciones  
**Pago con cheque, se entrega el material al tiempo de canje (opcional para clientes con cupo de crédito)**

Gracias por pensar en nuestra compañía, cualquier información adicional con gusto la atenderemos.

Cordialmente,

**Carolina Rojas Rojas**  
**Cargo: Representante de Ventas**  
Departamento Comercial  
Telefono 4242010 ext 129.  
Correo: ventasoficina1@metaza.com.co  
Bogotá, Colombia

ANEXO K.  
LONA



**JOSE EULISES**

**COTIZACION: APR 353**

Fecha: 07-jun-17

COMPRAS -

ITEM	UNID	DESCRIPCION	VALOR	TOTAL
1	1	EMPAQUE NEOPRENO 1/8 X 1.15 M2	\$78,285	\$78,285
2	1	EMPAQUE NEOPRENO 1/8 (ROLLO X 10 MTS X 1.15 M2)	\$508,857	\$508,857
		CUENTA A NOMBRE DE TIENDA HIDRAULICA SAS		
		CUENTA CORRIENTE		
		DAVIVIENDA : 480969999568		
		CITI BANK : 1003992299		
		HELM BANK :00635714-9		
		CAJA SOCIAL: 21003159977		
		BANCO DE BOGOTA: 02229931-7		
		<b>FLETE LO ASUME EL CLIENTE</b>		<b>\$587,142</b>
Observacion: <b>ENTREGA: 1 DIA PAGO: CONTADO</b>			<b>IVA</b>	<b>\$111,557</b>
<b>VALIDEZ DE OFERTA SALVO VENTA</b>			<b>TOTAL</b>	<b>\$698,699</b>

**ASESOR COMERCIAL:** ADRIANA RODRIGUEZ / LOCAL 2 / CEL: 350 3080976 - 3105774339


**LOCAL 2:** CALLE 15 # 27 - 74 CORREO: adrianarodriguez@tiendahidraulica.com

*Sede 1: Calle 15 No. 25 - 25 • PBX: 704 2343 • E-mail: tiendahidraulica@tiendahidraulica.com*

*Sede 2: Calle 15 No. 27 - 74 • PBX: 277 2403 • [www.tiendahidraulica.com](http://www.tiendahidraulica.com)*

*Hidráulica • Neumática • y mas...*

ANEXO L.  
PLANOS

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

## AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES


Nosotros Andrés Camilo Arias Riveros y Cristhian Andrés Peña Pardo en calidad de titulares de la obra **Diseño De Un Túnel De Viento, Con Monitoreo Por Telemetría, Para Pruebas De Estructuras De Ingeniería Y Arquitectura**, elaborada en el año 2016 , autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).


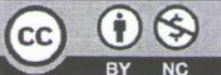

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:



 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	<b>Atribución- no comercial- sin derivar:</b> permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	<b>Atribución – no comercial:</b> permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	<b>Atribución – no comercial – compartir igual:</b> permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: [http://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](http://co.creativecommons.org/?page_id=13)

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

De igual forma como autores autorizamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:


AUTORIZAMOS	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaremos, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá D.C., a los 14 días del mes de Agosto del año 2017.

#### LOS AUTORES:

##### Autor 1

<b>Nombres</b>	<b>Apellidos</b>
Andrés Camilo	Arias Riveros
<b>Documento de identificación No</b>	<b>Firma</b>
1.122.650.918	

##### Autor 2

<b>Nombres</b>	<b>Apellidos</b>
Cristhian Andrés	Peña Pardo
<b>Documento de identificación No</b>	<b>Firma</b>
1.020.812.132	