

|  |                                      |         |            |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | INFORME FINAL DE<br>TRABAJO DE GRADO | Código  | FDE 089    |
|  |                                      | Versión | 03         |
|  |                                      | Fecha   | 2015-01-27 |

# **Diseño de túnel de viento didáctico para el estudio de curvas características de ventiladores en el ITM**

César Augusto Rojano Valencia

Cristian Camilo Osorio Naranjo

Edison Alejandro Rodríguez O.

INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Director del trabajo de grado:

Ing. Juan Gonzalo Ardila Marín, MSc.

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**2016**

|  |  |         |            |
|--|--|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |  | Versión | 03         |
|  |  | Fecha   | 2015-01-22 |

## RESUMEN

En el Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM) de la ciudad de Medellín, se tiene la necesidad de implementar nuevos equipos para reforzar las carreras Tecnológicas y profesional en Electromecánica, en este tema se ven involucrados temas de física, mecánica d fluidos y termodinámica. En otro aspecto importante en el cual se puede implementar este túnel es en el diseño de ventiladores, alabes y hélices e igualmente en la generación de curvas de estos equipos.

Por ello se ha planteado el diseño de un túnel de viento didáctico el cual servirá como complemento a las prácticas realizadas en el laboratorio de mecánica de fluidos. Se tuvo como propósito identificar los elementos en la construcción y diseño de un túnel de viento; para dar cumplimiento de esto se enfocó en la clasificación, funcionamiento y rendimiento posibles de este. El objetivo de la tesis es diseñar un túnel de viento para el estudio de curvas características de ventiladores en el laboratorio de mecánica de fluidos del Instituto Tecnológico Metropolitano en Medellín, que permita ofrecer el servicio de caracterización de ventiladores a la industria local. Un túnel de viento donde se genere una corriente de aire limitado por un conducto variable o específico, basándose en las clasificaciones básicas y los posibles usos que este puede generar. El diseño del túnel de viento se orienta, también, a pruebas posibles que puedan hacer los estudiantes del Instituto, dando uso con fines académicos.

Dentro de las actividades que se realizaran en este proyecto está el análisis y desarrollo de cálculos necesarios para la construcción del equipo, las consideraciones normativas de materiales, pedagógicos y de ingeniería, todas estas encaminadas a contribuir en un mejor aprendizaje de las diferentes materias involucradas en el proceso educativo. La metodología implicó caracterizar las variables a medir dentro del fenómeno a analizar, establecer el estado del arte respecto a desarrollos similares a nivel nacional e internacional, modelar el túnel de viento, cotizar la implementación del túnel de viento, detallar la operación, manejo y mantenimiento del túnel de viento.

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

## RECONOCIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a Dios por darnos la fortaleza y la sabiduría necesaria para desarrollar nuestro proyecto de la mejor manera posible y por habernos ayudado a terminar nuestra carrera.

Agradecemos de una manera muy especial a nuestro asesor de proyecto el profesor Juan Gonzalo Ardila Marín por haber depositado su apoyo y confianza en nuestro proyecto. Por habernos ayudado constantemente a resolver las dudas que se nos presentaron durante el desarrollo del proyecto; siempre tuvo la disposición y la amabilidad de atendernos cada vez que se nos presentaba alguna inquietud, para guiar nuestras ideas de la mejor manera posible. También queremos agradecerle por facilitarnos los medios suficientes para realizar todas las actividades propuestas en el desarrollo del proyecto.

Por otra parte queremos dar los sinceros agradecimientos a nuestras familias por apoyarnos en los momentos buenos y malos que nos toca pasar en el transcurso de nuestra carrera; siempre estuvieron a nuestro lado alentándonos y animándonos a seguir adelante ante los problemas adversidades que se nos fueron presentando; también por comprendernos en los momentos en los que por estar estudiando nos olvidábamos de ellos.

# TABLA DE CONTENIDO

---

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN .....   | 7  |
| 1.1. GENERALIDADES.....   | 7  |
| 1.2. OBJETIVO GENERAL.....  | 8  |
| 1.3. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....                                     | 8  |
| 2. GLOSARIO .....   | 9  |
| 2.1. VENTILACIÓN.....   | 9  |
| 2.2. VENTILADORES .....   | 9  |
| 2.3. CLASIFICACIÓN DE VENTILADORES .....                            | 9  |
| 2.4. CURVAS CARACTERÍSTICA. ....                                    | 10 |
| 2.5. TUBO PITOT.....  | 12 |
| 2.6. TÚNEL DE VIENTO.....   | 13 |
| 2.6.1. CLASIFICACIÓN DE TÚNELES.....                                | 15 |
| 2.7. NORMA AMCA 210.1999.....                                       | 15 |
| 3. ESTADO DEL ARTE.....   | 18 |
| 3.1. INVENCIÓN DEL TÚNEL DE VIENTO.....                             | 18 |
| 3.2. DEFINICIÓN TÚNEL DE VIENTO. ....                               | 19 |
| 3.3. TÚNELES DE VIENTO A NIVEL NACIONAL.....                        | 20 |
| 3.4. TÚNELES DE VIENTO A NIVEL INTERNACIONAL. ....                  | 25 |
| 4. METODOLOGÍA.....   | 34 |
| 4.1. EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE E IDENTIFICACIÓN DE NORMAS..... | 34 |
| 4.2. CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES .....                             | 35 |
| 4.3. MODELADO .....   | 36 |
| 4.3.1 Modelado CAD. ....  | 36 |
| 4.3.2 Modelo de mecánica de fluidos .....                           | 36 |
| 4.4. LISTADO DE MATERIALES Y COTIZACIÓN .....                       | 36 |
| 4.5. GUÍA DE TRABAJO .....  | 37 |
| 5. RESULTADOS.....  | 39 |
| 5.1. SELECCIÓN Y MODELADO DE COMPONENTES Y ENSAMBLE .....           | 39 |
| 5.1.1 Ventilador BCI 135.....                                       | 39 |

|  |  |         |            |
|--|--|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |  | Versión | 03         |
|  |  | Fecha   | 2015-01-22 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 5.1.2  | Brida rectangular y empaques neoprenos. ....                           | 40 |
| 5.1.3  | Transición de circular a rectangular. ....                             | 40 |
| 5.1.4  | Brida circular. ....   | 41 |
| 5.1.5  | Dámper. ....   | 41 |
| 5.1.6  | Abrazaderas. ....  | 41 |
| 5.1.7  | Cono Difusor. ....   | 42 |
| 5.1.8  | Compuerta. ....  | 43 |
| 5.1.9  | Parte trasera difusor. ....  | 43 |
| 5.1.10 | Mesa Soporte. ....   | 44 |
| 5.1.11 | Instrumentación industrial para medir las variables involucradas. .... | 44 |
| 5.2.   | DISEÑO ELÉCTRICO. ....   | 45 |
| 5.3.1  | Secuencia de funcionamiento circuito de Control. ....                  | 45 |
| 5.3.2  | Secuencia de funcionamiento circuito de potencia. ....                 | 46 |
| 5.3.3  | Componentes del circuito eléctrico. ....                               | 46 |
| 5.3.4  | Diagrama instrumentos Túnel de Viento. ....                            | 46 |
| 5.3.   | PRESUPUESTO. ....  | 47 |
| 5.4.   | MANTENIMIENTO DEL TÚNEL DE VIENTO DIDÁCTICO. ....                      | 48 |
| 7.4.1  | Limpieza. ....   | 49 |
| 7.4.2  | Mantenimiento del ventilador BCI 135. ....                             | 49 |
| 7.4.3  | Mantenimiento Panel de Control. ....                                   | 49 |
| 7.4.4  | Mantenimiento base soporte. ....                                       | 49 |
| 7.4.5  | Mantenimiento Tubo Pitot. ....   | 50 |
| 6.     | GUÍA DE TRABAJO. ....  | 51 |
| 7.     | CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO. ....                   | 66 |
| 7.1.   | CONCLUSIONES. ....   | 66 |
| 7.2.   | RECOMENDACIONES. ....  | 67 |
| 7.3.   | TRABAJO FUTURO. ....   | 67 |
|        | REFERENCIAS. ....  | 68 |
|        | ANEXOS. ....   | 70 |
| 9.1.1  | .....  | 85 |
| MARCA  | VIBRACOL. ....   | 86 |
| 9.1.2  | CANT. ....   | 87 |
| 9.1.3  | VALOR TOTAL \$. ....   | 87 |

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

# LISTA DE ILUSTRACIONES

|   |    |
|---|----|
| ILUSTRACIÓN 1. VENTILADORES AXIALES Y CENTRIFUGO. TOMADO DE S&P .....   | 10 |
| ILUSTRACIÓN 2. CURVA CARACTERÍSTICAS. TOMADO DE S&P .....   | 11 |
| ILUSTRACIÓN 3. CURVA CARACTERÍSTICA SEGÚN TIPO DE VENTILADOR. ....  | 12 |
| ILUSTRACIÓN 4. TUBO PITOT. TOMADA DE (CREUS SOLE, 2010).....  | 12 |
| ILUSTRACIÓN 5. REPRESENTACIÓN DEL TÚNEL DE VIENTO. ....   | 14 |
| ILUSTRACIÓN 6. TÚNEL DE VIENTO SEGÚN AMCA210.1999. ....   | 16 |
| ILUSTRACIÓN 7. PIEZAS DE TRANSFORMACIÓN SEGÚN AMCA210.1999.....   | 17 |
| ILUSTRACIÓN 8. HERMANOS WRIGHT. ....  | 18 |
| ILUSTRACIÓN 9. PRIMER TÚNEL DE VIENTO CONSTRUIDO POR LOS HERMANOS WRIGHT. ....  | 19 |
| ILUSTRACIÓN 10. TÚNEL DE VIENTO TOMADO DE M&A MOTOR RACING. ....  | 21 |
| ILUSTRACIÓN 11. TÚNEL DE VIENTO DESARROLLADO EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. (MARTINEZ, 2011). ....                                 | 22 |
| ILUSTRACIÓN 12. TÚNEL DE VIENTO UNIVERSIDAD EAFIT MEDELLÍN. ....  | 23 |
| ILUSTRACIÓN 13. VISTA COMPLETA TÚNEL DE VIENTO UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA. ....   | 24 |
| ILUSTRACIÓN 14. CÁMARA DE PRUEBAS, TABLERO ELÉCTRICO, CENTRO DE MANDO Y PROPULSOR. TÚNEL DE VIENTO UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA. .... | 24 |
| ILUSTRACIÓN 15. CROQUIS DE LA INSTALACIÓN DE PRUEBA (MAO YIJUN, 2009). ....   | 25 |
| ILUSTRACIÓN 16. FOTOGRAFÍA DE LA CONFIGURACIÓN DE LA PRUEBA EN LA CÁMARA HEMI-ANECOICA (MAO YIJUN, 2009). ....                              | 26 |
| ILUSTRACIÓN 17. LA REPRESENTACIÓN DE COMPONENTES PARA EL VENTILADOR DE LA PRUEBA (ZHANG JIANHUA, 2016).....                                 | 27 |
| ILUSTRACIÓN 18. LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBA (ZHANG JIANHUA, 2016).....   | 27 |
| ILUSTRACIÓN 19. (A) IMAGEN DE LA PROYECCIÓN DEL MODELO DE VENTILADOR (CASO 1) Y (B) LA MALLA CORRESPONDIENTE (YOUNG-TAE LEE, 2016).....     | 28 |
| ILUSTRACIÓN 20. DISTRIBUCIÓN DE LA PRESIÓN SOBRE LA SUPERFICIE DEL ROTOR (SHEAM-CHYUN LIN, 2002 VOL. 26). ....                              | 29 |
| ILUSTRACIÓN 21. EL LABORATORIO NUS-HDB TÚNEL DE VIENTO (TODAS LAS DIMENSIONES EN MM) .....  | 30 |
| ILUSTRACIÓN 22. DISPOSICIÓN DE UNA PARED DE BARRERA, AGUJAS Y ELEMENTOS DE RUGOSIDAD .....  | 31 |
| ILUSTRACIÓN 23. VENTILADOR PROTOTIPO, MODELO CAD Y MALLA EN EL MODELO CFD. ....   | 33 |
| ILUSTRACIÓN 24. ENSAMBLE FINAL.....   | 39 |
| ILUSTRACIÓN 25. VENTILADOR BCI 135.....   | 40 |
| ILUSTRACIÓN 26. BRIDA RECTANGULAR.....  | 40 |
| ILUSTRACIÓN 27. TRANSICIÓN. ....  | 40 |
| ILUSTRACIÓN 28. BRIDA CIRCULAR. ....  | 41 |
| ILUSTRACIÓN 29. DÁMPER. ....  | 41 |
| ILUSTRACIÓN 30. ABRAZADERAS. ....   | 42 |
| ILUSTRACIÓN 31. CONO DIFUSOR. ....  | 42 |
| ILUSTRACIÓN 32. COMPUERTA. ....   | 43 |
| ILUSTRACIÓN 33. PARTE TRASERA DIFUSOR. ....   | 44 |
| ILUSTRACIÓN 34. MESA SOPORTE.....   | 44 |
| ILUSTRACIÓN 35. CAUDALIMETRO DE AIRE FLUKE 922. ....  | 45 |
| ILUSTRACIÓN 36. SISTEMA ELÉCTRICO. ....   | 45 |
| ILUSTRACIÓN 37. DIAGRAMA DE INSTRUMENTOS TÚNEL DE VIENTO.....   | 46 |

|  |  |         |            |
|--|--|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |  | Versión | 03         |
|  |  | Fecha   | 2015-01-22 |

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. GENERALIDADES

La razón de ser de un aprendizaje es tener la posibilidad de confrontar los conocimientos teóricos adquiridos con la práctica, en el ITM de la ciudad de Medellín existe una muy buena calidad académica y practica; pero también hay un vacío en el complemento pedagógico práctico en el campo de mecánica de fluidos, porque no hay la posibilidad de afianzar algunos conocimientos acerca de la fenomenología de los diferentes procesos teóricos que se estudian durante el pregrado. El Instituto Tecnológico Metropolitano cuenta con unos laboratorios muy completos en diferentes áreas con los que los estudiantes pueden realizar prácticas y enriquecer sus conocimientos, a pesar de ello se necesita de equipos en el laboratorio de mecánica de fluidos con los que se pueda evaluar la turbo máquina en especial hacer curvas características de compresores y ventiladores. Un banco de pruebas es necesario con el fin de que el estudiante entienda como es el principio de funcionamiento de este tipo de equipos, y los parámetros de selección a tener en cuenta a la hora de hacer uso de ventiladores para diferentes aplicaciones, de tal manera que los futuros profesionales tengan criterios para emitir los juicios durante el ejercicio de su profesión.

Localmente hay industrias como Vibracol Ltda, Uniaires, Fimaq S.A.S., H.R.A. Ventilación Industrial, Electrovento, Vibromontajes S.A.S., que se dedican a la fabricación de turbo maquinaria y se ven en la necesidad de caracterizar sus productos, tales como compresores y ventiladores, con el fin de ofrecerle un mejor servicio a sus clientes, algunas de ellas son: Coca Cola, Postobón, Fabricato, Empresas públicas de Medellín, Colanta, entre otras; por esta razón se ve la necesidad de fabricar un equipo o banco experimental que puedan prestar también un servicio a la industria local.

Actualmente el Instituto Tecnológico Metropolitano no cuenta en el laboratorio de mecánica de fluidos, con un equipo que pueda ofrecer a los estudiantes y la industria el servicio de caracterización de curvas de ventiladores. Las pruebas que se realicen en este equipo irán ligadas a las necesidades y capacidades de la universidad, además darán un soporte solido al desarrollo académico e industrial de la región, esto se lograría realizando un análisis detallado del equipo con el fin de poder establecer sus capacidades en cuanto a rangos de presión y caudal para poder definir los alcances o límites del equipo para el nivel académico y el nivel industrial; con lo anterior lograremos obtener unos resultados confiables en los análisis y prácticas que se desarrollen en el equipo.

|  |  |         |            |
|--|--|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |  | Versión | 03         |
|  |  | Fecha   | 2015-01-22 |

## **1.2.OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un túnel de viento para el estudio de curvas características de ventiladores en el laboratorio de mecánica de fluidos del Instituto Tecnológico Metropolitano en Medellín, que permita ofrecer el servicio de caracterización de ventiladores a la industria local.

## **1.3.OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Caracterizar las variables a medir dentro del fenómeno a analizar.
2. Establecer el estado del arte respecto a desarrollos similares a nivel nacional e internacional
3. Modelar el túnel de viento.
4. Cotizar la implementación del túnel de viento.
5. Detallar la operación, manejo y mantenimiento del túnel de viento.

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

## 2. GLOSARIO

---

### 2.1. VENTILACIÓN

Este fenómeno puede definirse como la técnica por medio de la cual se sustituye el aire ambiente del interior de una construcción, maquinaria o un proceso determinado ya sea por deficiencia o exceso en su pureza, temperatura o humedad, toxicidad o potencial explosividad, por otro exterior de mejores características (POCOVÍ, 2012).

### 2.2. VENTILADORES

Los ventiladores son turbomáquinas que transmiten energía para generar la presión necesaria de un gas, en este caso aire, los cuales absorben energía eléctrica, la transforman en energía mecánica a través de su eje que gira a grandes velocidades, la que a su vez es entregada al gas mediante el movimiento de sus aspas y al que comunican una cierta presión estática. Un ventilador puede elevar la presión hasta aproximadamente 1.5 Psi, más allá de esa presión y hasta 10 Psi se denominan sopladores y a mayores presiones compresor. En ocasiones los ventiladores se usan como extractores para succionar una cierta cantidad de gas para su renovación, la diferencia entre estos radica en la posición en que se ubique el ventilador (Bartz, 2006).

### 2.3. CLASIFICACIÓN DE VENTILADORES

Estos se dividen en ventiladores axiales, ventiladores centrífugos y ventiladores helicocentrífugos.

#### Ventiladores Axiales o Helicoidales

Los ventiladores axiales tienen un movimiento del flujo a través del rotor, con alabes o palas de distintas formas, se realiza conservando la dirección del eje de este. Se utilizan para mover grandes cantidades de aire en espacios abiertos, pero a pequeñas pérdidas de carga, como la resistencia al flujo es muy baja, se requiere generar una presión estática pequeña, del orden de los 5 a 25 milímetros de columna de agua (mmcda). Debido a esto, la principal aplicación de los ventiladores axiales se encuentra en el campo de la ventilación general. Se les conoce como extractores o inyectores de aire, se los usa en aplicaciones diversas. Existen dos tipos como son axial mural y axial tubular (Ilustración1) (POCOVÍ, 2012).

#### Ventiladores Centrífugos

En estos elementos el aire ingresa en dirección paralela al eje del rotor, por la boca de aspiración y la descarga se realiza tangencialmente al rotor. Estos ventiladores son capaces de proporcionar mayores presiones y suelen emplearse en climatizadoras en donde además de vencer las pérdidas de la red de conductos deben vencer Las pérdidas de los filtros y de las baterías (Ilustración 1). Los ventiladores centrífugos pueden clasificarse en función de la presión estática que producen en ventiladores de baja presión, media presión y alta presión (POCOVÍ, 2012).

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |



1



2



3

**Ilustración 1. (1) Ventiladores axiales, (2) Helicocentrifugo, (3) Centrifugo Tomado de S&P<sup>1</sup>**

### **Ventiladores Helicocentrifugos.**

El flujo entra al eje en dirección axial y sale del eje en dirección radial, es poco empleado.

## **2.4. CURVAS CARACTERÍSTICA.**

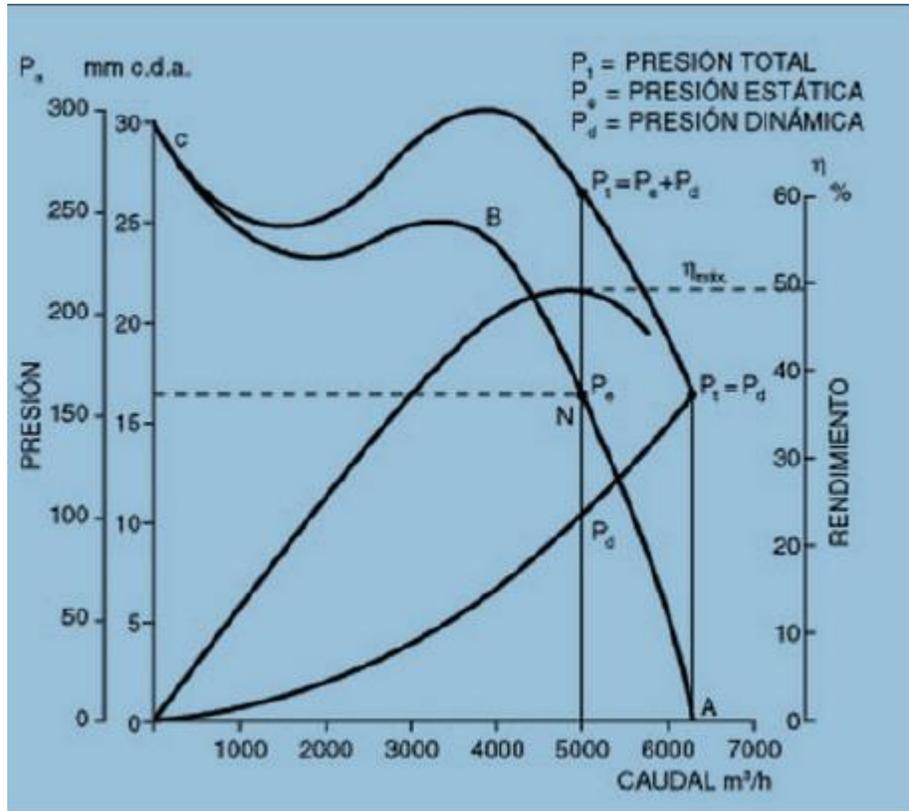
El ensayo de ventiladores tiene por objeto determinar la capacidad del aparato para transferir la potencia al aire que mueve. Estos datos son obtenidos mediante un ensayo en un laboratorio a una temperatura, presión atmosférica y humedad específica. La curva obtenida es representada en un gráfico con unos ejes ordenados, en donde se pueden identificar los distintos valores de los parámetros físicos importantes, para el funcionamiento del ventilador, en estos gráficos se pueden representar en diferentes escalas, variables como: la presión, el caudal, la velocidad de giro, eficiencia, potencia, nivel de ruido entre otros.

En estos ensayos se hace funcionar el ventilador a un régimen de giro constante, tomando valores desde caudal máximo que se entrega (descarga libre), hasta el caudal cero (máxima pérdida por carga), con base a la condición de pérdida de caudal, se pueden establecer ciertos elementos como reguladores de flujo (boquillas) o generadores de contra flujo (ventiladores auxiliares) para realizar mediciones a diferentes caudales. En la Ilustración 2 se muestra el diagrama con cuatro curvas características, en las cuales se han graficado el rendimiento ( $\eta$ ), la presión dinámica ( $P_d$ ) que actúa en el sentido de la velocidad del aire, la presión estática ( $P_e$ ) que representa las pérdidas de carga, y la presión total ( $P_t$ ) siendo igual a la suma de presión estática y dinámica, todas estas variables graficadas en función del caudal ( $Q$ ). Además, se deben incluir las mediciones de las condiciones ambientales como presión atmosférica y humedad relativa.

Las curvas características de un ventilador indican su comportamiento según sea su funcionamiento, y normalmente son reportadas por los fabricantes en sus catálogos. Reúnen la información necesaria para determinar las magnitudes de operación de la máquina en determinada instalación. Estas son obtenidas para condiciones ambientales específicas, y además requieren de procedimientos y equipos según normativa oficial para la que se evalúa el ventilador, es común ver

<sup>1</sup>[http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp\\_ventilacion\\_c4.pdf](http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp_ventilacion_c4.pdf)

aparatos de ensayos, como lo son los túneles de viento y cámaras calibradas. Algunas estandarizaciones comunes son las normas americanas AMCA/ASHRAE 210-07/51-2007 y sus equivalentes ISO CD 5801: 2007 o británicas BS 848 parte 1.



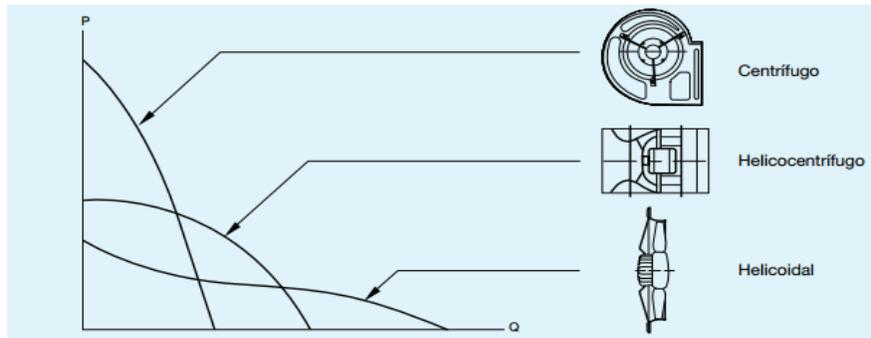
**Ilustración 2. Curva características. Tomado de S&P<sup>2</sup>**

Debido al desplazamiento del aire y al movimiento de las hélices a una velocidad de giro, el ventilador genera determinado ruido que se debe tener en cuenta para el confort de las personas que se encuentran cercanas al funcionamiento del equipo, estos valores se determinan mediante medidas de nivel, de presión y potencia sonora obtenidas en el campo y se expresa en db.

Observando la Ilustración 3, donde se han representado las curvas características de los tipos fundamentales de ventilación, para poder comprender mejor su comportamiento. Los tres ventiladores que se comparan tienen el mismo diámetro de rodete. Se nota que, a igualdad de caudal impulsado (Q), los ventiladores centrífugos dan más presión que los helicentrífugos, y éstos a su vez más que los helicoidales. También se observa que, los centrífugos mueven caudales menores que los helicentrífugos, y éstos menos que los helicoidales. Por tanto, puede aceptarse que los ventiladores más adecuados cuando los caudales sean grandes y las presiones que deban

<sup>2</sup> <http://www.solerpalau.es/es-es/hojas-tecnicas-curva-caracteristica>

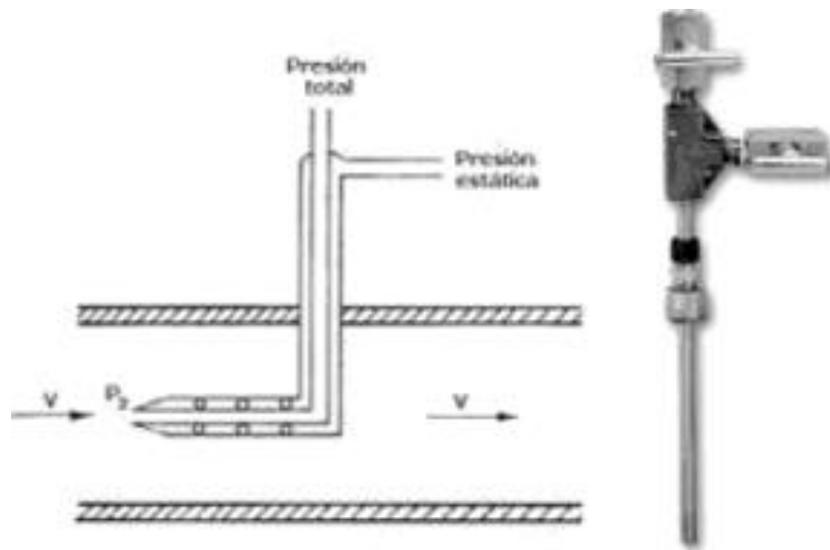
vencer sean pequeñas son los helicoidales. Este tipo de ventilador tiene además la ventaja de la facilidad de instalación. Los ventiladores indicados para mover caudales pequeños pero a elevada presión son los centrífugos; finalmente, un caso intermedio es el de los ventiladores helicocentrífugos (Soler & Palau, 2010).



**Ilustración 3. Curvas características según tipo de ventilador.<sup>3</sup>**

## 2.5. TUBO PITOT.

El tubo Pitot fue ideado por Henri Pitot (1695-1771) y mide la diferencia entre la presión total y la presión estática, o sea, la presión dinámica, la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad del fluido (ver Ilustración 4).



**Ilustración 4. Tubo Pitot. Tomada de (Creus Sole, 2010)**

La ecuación correspondiente es:

<sup>3</sup> [http://www.proclima.es/wp-content/uploads/2014/06/curva\\_caracteristica.pdf](http://www.proclima.es/wp-content/uploads/2014/06/curva_caracteristica.pdf)

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

$$\frac{P_2}{\rho} = \frac{P_1}{\rho} + \frac{V^2}{2}$$

En la que:

P<sub>2</sub> = presión de impacto o total absoluta en el punto donde el líquido anula su velocidad.

P<sub>1</sub> = presión estática absoluta en el fluido.

ρ = densidad

V = velocidad del fluido en el eje del impacto.

De aquí se deduce:

$$V = \sqrt{\frac{(P_2 - P_1)^2}{\rho}}$$

o bien introduciendo un coeficiente de velocidad C para tener en cuenta la irregular distribución de velocidades, la rugosidad de la tubería, etc., resulta:

$$V = C \sqrt{\frac{(P_2 - P_1)^2}{\rho}}$$

El tubo Pitot es sensible a las variaciones en la distribución de velocidades en la sección de la tubería, de aquí que en su empleo es esencial que el flujo sea laminar, disponiéndolo en un tramo recto de tubería. Si el eje del tubo está en el centro de la tubería, se considera C = 0,9 y se obtiene una exactitud del orden del ± 2% al ± 5%. Si se desea la máxima exactitud se efectúan las medidas con el tubo Pitot en los puntos centrales de áreas concéntricas iguales en las tuberías de sección circular (20 lecturas), o en áreas rectangulares iguales en las tuberías de sección rectangular (de 16 a 64 lecturas) y se promedian las raíces cuadradas de las velocidades medidas. De este modo, puede obtenerse una exactitud del ± 2%. Se emplea normalmente para la medición de grandes caudales de uidos limpios con una baja pérdida de carga (Creus Sole, 2010).

## 2.6. TÚNEL DE VIENTO.

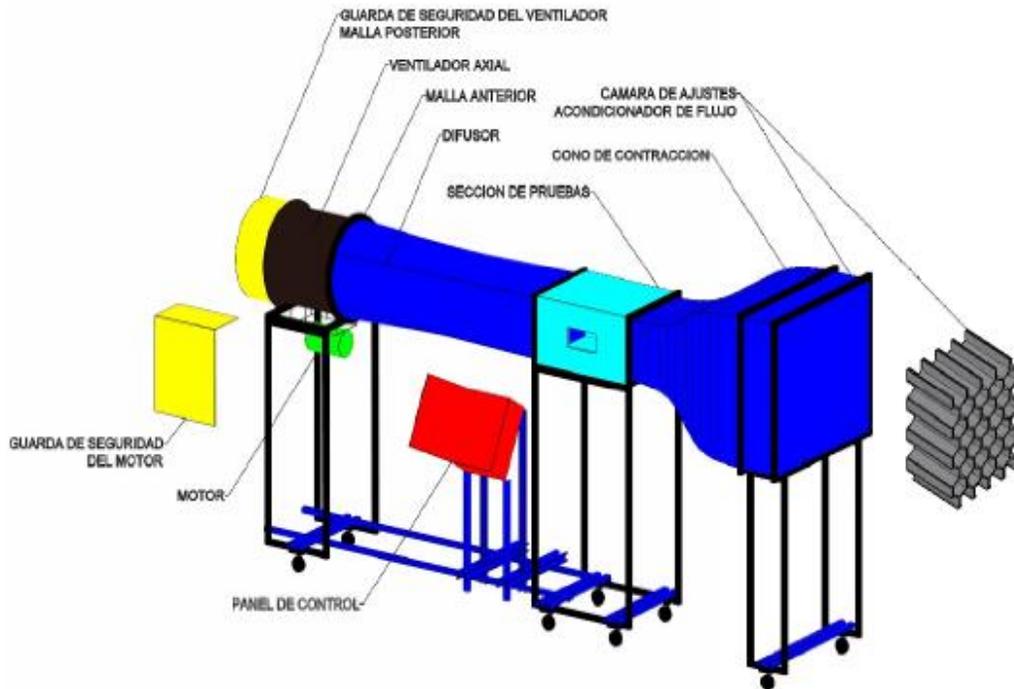
En esencia un túnel de viento con fines didácticos puede usarse tanto para experimentos de laboratorio, como para demostraciones cualitativas de fenómenos de interés de mecánica de fluidos, física, resistencia de materiales, transferencia de calor y termodinámica. Si bien hay algunas áreas del conocimiento en las que serviría de apoyo a la investigación.

Básicamente hay dos tipos de túneles: abiertos y cerrados, y dos tipos de cámaras: abiertas y cerradas, estos tipos no difieren mucho en cuanto a sus componentes, estos son (ver Ilustración 5)<sup>4</sup>:

<sup>4</sup>[https://repository.eafit.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10784/4407/Felipe\\_AcevedoVelez\\_2006.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.eafit.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10784/4407/Felipe_AcevedoVelez_2006.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

- a) Cámara de pruebas.
- b) Difusor.
- c) Sección de área constante.
- d) Malla de seguridad del ventilador.
- e) Transición de sección rectangular a circular.
- f) Ventilador (sistema de propulsión).
- g) Retorno o segundo difusor.
- h) Sección de área constante.
- i) Intercambiador de calor.
- j) Difusor de ángulo pronunciado.
- k) Cámara de ajustes.
- l) Mallas acondicionadoras de flujo.
- m) Contracción.



**Ilustración 5. Representación del túnel de viento.**

Pueden encontrarse con estabilizador de flujo en la entrada principal del túnel, este evita que el aire se desestabilice y se formen o propaguen turbulencias para garantizar un flujo estable y uniforme en la cámara de prueba. También puede verse el uso de toberas convergentes o conos de contracción, en estos disminuye la sección de área del túnel para permitir acelerar el flujo y producir en el interior el efecto Venturi logrando una corriente de aire de alta velocidad sin turbulencia.

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

En la Cámara de Pruebas se instala el modelo de estudio y se reproducen las condiciones similares a las que experimentaría un objeto en la vida real. El Difusor disminuye la velocidad del flujo a la salida al aumentar su sección interna y aumenta paulatinamente la presión, es primordial evitar que la corriente de aire cause perturbaciones en la cámara de prueba. El Impulsor o ventilador tiene por función impulsar el aire a través del túnel de viento.

Con respecto a la instrumentación, requieren la selección e implementación de los diferentes medidores de presión, velocidad, flujo y caudal. En la medición de velocidad del aire se utilizan instrumentos como, el Tubo de Pitot, este mide la diferencia entre la presión total y la presión estática, esto es igual a la presión dinámica, lo cual es proporcional al cuadrado de la velocidad.

Cada uno de los componentes del proyecto se diseña teniendo en cuenta las normas establecidas para ello, en un software que nos permita la modelación tridimensional. Por la arquitectura, velocidad, costos y espacio se ha determinado la utilización del túnel de viento abierto, en la implementación de este proyecto se presentan requerimientos de carácter mecánico, eléctrico e informático.

### **2.6.1. CLASIFICACIÓN DE TÚNELES**

Según la circulación del aire en su interior se clasifican en abiertos y cerrados (BARLOW J. B., 1999):

#### **Abierto**

Es cuando se toma el aire directamente de la atmosfera y después de hacerlo circular por la cámara de ensayo, este se devuelve nuevamente a la atmosfera.

#### **Cerrados**

El aire circula varias veces por la cámara, recuperando por medio de un difusor su energía fluida antes de llegar de nuevo a la cámara de ensayo.

Según la velocidad del flujo en su interior, se clasifican en Subsónico, Transónico, Supersónico, o Hipersónico; o según la presión en Atmosféricos, de Densidad variable. Según el tamaño en Ordinarios o Escala real, y según su categoría en Meteorológicos, Túneles de choque, Chorro plasmático, o Tiro caliente.

### **2.7.NORMA AMCA 210.1999.**

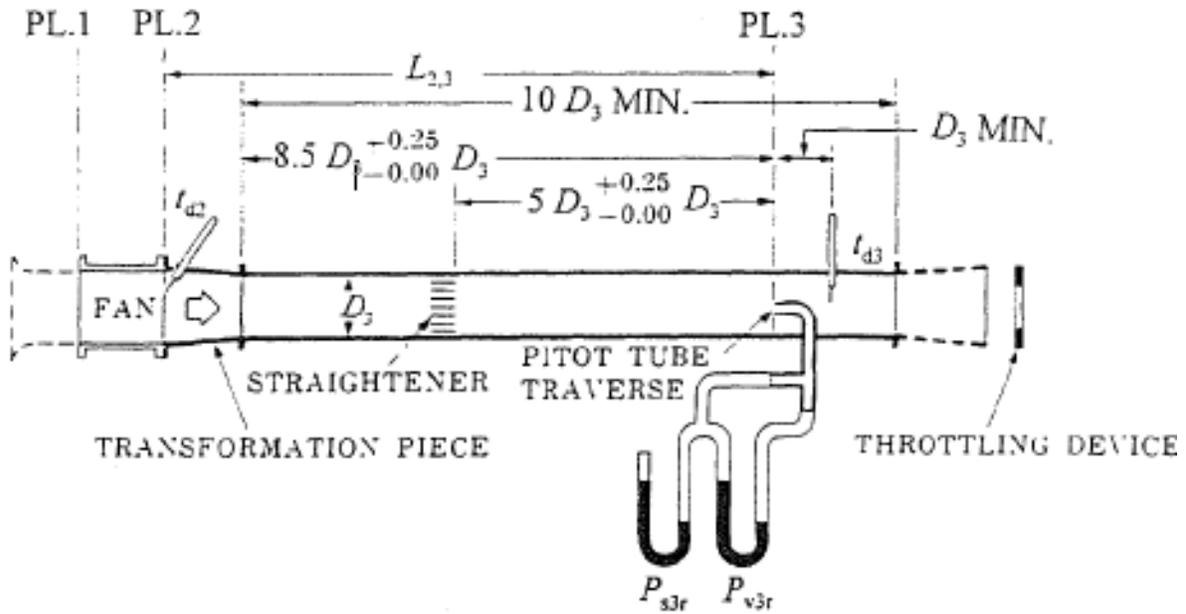
Esta norma establece los métodos para las pruebas de laboratorio de los ventiladores y otros dispositivos para movimiento de aire, para determinar el rendimiento aerodinámico para fines de calificación o garantía en cuanto a la tasa de flujo de aire, la presión, la energía, la densidad del aire, la velocidad de rotación, y la eficiencia. No especifica los procedimientos de prueba que se utilizarán para el diseño, la producción, o las pruebas de campo.

Esta norma se puede utilizar como base para la prueba de sopladores, compresores, extractores, u otros dispositivos de movimiento de aire siempre que se use aire como el fluido en la prueba. El

|  |                                      |         |            |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | INFORME FINAL DE<br>TRABAJO DE GRADO | Código  | FDE 089    |
|  |                                      | Versión | 03         |
|  |                                      | Fecha   | 2015-01-22 |

ámbito de aplicación de esta norma no cubre: (a) los ventiladores de techo, ventiladores de escritorio y ventiladores de inyección de aire circulante. (b) Los compresores de refrigerante. (c) las máquinas de desplazamiento positivo. (d) los procedimientos de prueba que se utilizarán para el diseño, la producción, o las pruebas de campo.

A continuación, se presenta el diseño del banco de pruebas establecido por la norma, véase la Ilustración 6.



**Ilustración 6. Túnel de viento según AMCA210.1999.**

El conducto se incorpora en la configuración de laboratorio para proporcionar un plano de medición o para simular las condiciones que se espera que el ventilador pueda encontrar en servicio o ambos. Los conductos de salida se utilizan para proporcionar estaciones de medición. Para determinar el  $D_3$  (ver Ilustración 6) o diámetro interior del conducto de sección transversal circular o diámetro equivalente de una sección transversal rectangular con dimensiones “a” y “b”, donde:

$$D_3 = \sqrt{4ab/\pi}$$

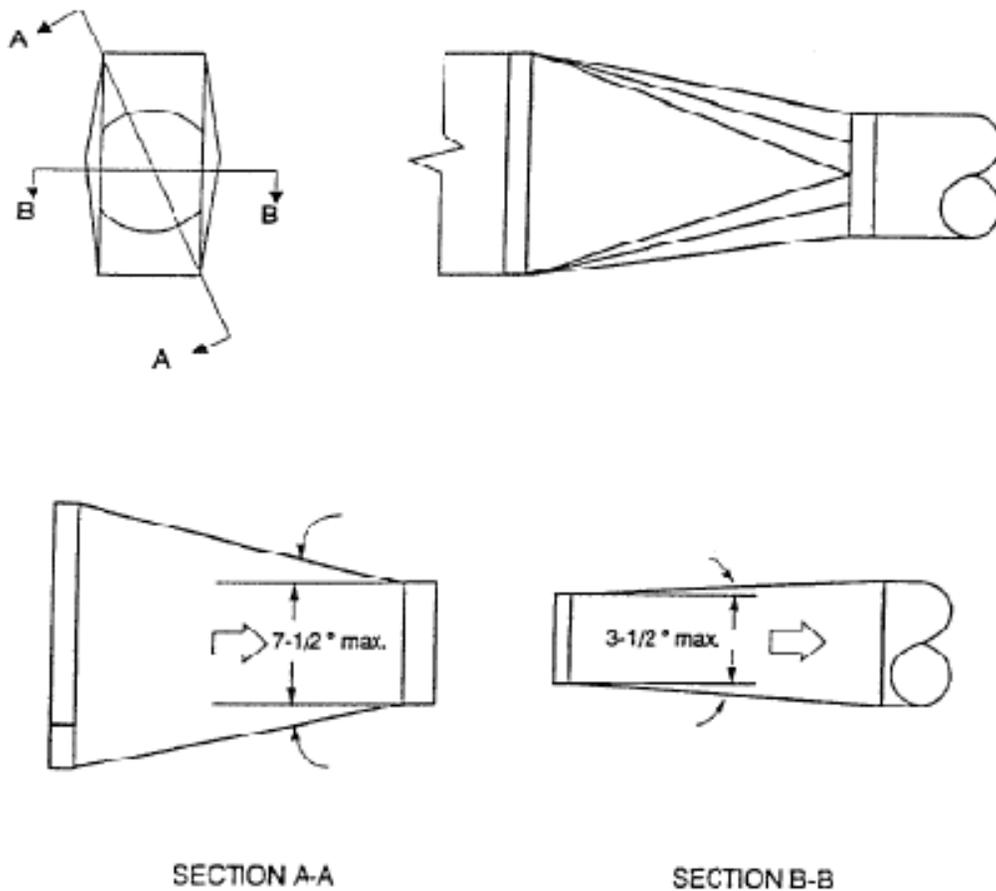
Debe tenerse en cuenta que no serán más de 5,0% mayores o menores que el área de salida de la descarga del ventilador (FAN en la Ilustración 6) a probar. Pero, en términos generales, los conductos con planos de medición para determinar el flujo de aire deberán ser rectos con secciones transversales circulares uniformes, y entre 9,5 y 9,75 diámetros de largo mínimo. Igualmente, los conductos de succión, utilizados para simular carga a ese lado, deberán ser no más de 12,5% mayores o 7,5% menores que el área de la succión del ventilador. Las campanas de entrada requieren un diámetro equivalente al del conducto, deben ser del mismo tamaño y forma que la succión del ventilador. Los tubos de Pitot (PITOT TUBE TRAVERSE en la Ilustración 6) deben estar

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

situados entre 8,5 y 8,75 diámetros desde el extremo aguas arriba. En el extremo final del conducto podrá instalarse el dispositivo de estrangulamiento (THROTTLING DEVICE en la Ilustración 6).

En la Ilustración 6, las líneas discontinuas en la entrada o succión del ventilador indican una campana de entrada con diámetro equivalente al del conducto que puede utilizarse para la succión para simularlo. No se considerará la fricción en dicho conducto. Las líneas discontinuas en la salida indican un cono difusor que puede ser usado para simular una descarga casi libre.

Dado que las descargas de los ventiladores centrífugos suelen ser rectangulares se recomienda el uso de una transición de área rectangular a circular (TRANSFORMATION PIECE en la Ilustración 6), en la Ilustración 7 se presenta su normativa de diseño. Según la norma, estas piezas no deberán contener ningún elemento convergente que forme, con el eje del conducto, un ángulo mayor a  $7,5^\circ$ , o un elemento divergente que forme un ángulo mayor a  $3,5^\circ$ . Además, los ejes de la abertura del ventilador y el conducto deben coincidir, es decir, deben ser concéntricos. Por otra parte, las conexiones de cualquier tamaño y forma pueden emplearse entre el conducto y alguna cámara.



**Ilustración 7. Piezas de transformación según AMCA210.1999.**

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

## ESTADO DEL ARTE

---

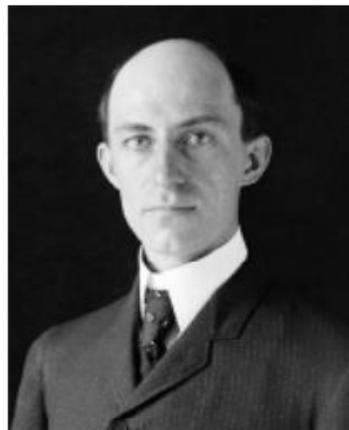
Desde tiempos antiguos el hombre ha estudiado la aerodinámica, es por ello que a finales de 1871 Francis H. Wenham en el reino unido fabrico el primer túnel de viento y desde entonces los avances al respecto son cada día mayores y es así como la aerodinámica es un tema fundamental en el desarrollo de la aviación, vehículos, construcción y demás. De ahí la importancia que se debe tener en el desarrollo de este capítulo.

### 3.1. INVENCIÓN DEL TÚNEL DE VIENTO<sup>5</sup>.

A partir de 1899 los hermanos Wright, Ilustración 8, iniciaron un proceso sistemático bien documentado para estudiar las posibilidades de vuelo que existían. Aprovecharon la información existente, desde DaVinci hasta el alemán Otto (1848-1896) y el estadounidense Langley (1834-1906). Los hermanos Wright comparten el título de pioneros de la aviación mundial junto con Santos Dumont.



*Orville Wright a los 34 años de edad.*



*Wilbur Wright a los 38 años de edad.*

**Ilustración 8. Hermanos Wright.**

Dentro de los aportes más relevantes de los hermanos Wright, se encuentra el desarrollo de los mecanismos y sistemas para controlar el vuelo de un avión, y en 1901 construyeron el primer túnel de viento (Ilustración 9), el ventilador producía una velocidad de aire entre 41 y 58 kilómetros por hora, utilizado para medir la sustentación y la resistencia al avance

<sup>5</sup>[http://www.biografiasyvidas.com/biografia/w/wright\\_hermanos.htm](http://www.biografiasyvidas.com/biografia/w/wright_hermanos.htm)

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

que producen diferentes perfiles aerodinámicos a diferentes ángulos de ataque. Este fue el inicio de una poderosa herramienta para la investigación de los fenómenos aerodinámicos. Prácticamente todo, desde aviones, automóviles, chimeneas, bicicletas, edificios, puentes, antenas, anuncios etc. Se prueban en túneles de viento.

La invención de los túneles de viento, también se explica por la intención de experimentar con los efectos del viento al pasar alrededor de un objeto. Inicialmente se desplazaban los modelos de prueba montados en vehículos que a su vez viajaban sobre rieles o caminos preparados. De esta manera se lograba imprimir cierta velocidad al modelo y poder así observar su comportamiento. Con base en la idea de la velocidad es relativa, se optó por dejar al modelo fijo y mover el aire. De esta manera se resolvieron muchos problemas de espacio, de mecanismos complejos y de instrumentación para observar y medir parámetros en el modelo. Esta evolución diversificó la variedad de formas y tamaños de los túneles de viento, aunque todos comparten elementos: un sistema de propulsión para mover el aire y una sección de pruebas en donde se colocan los modelos.



**Ilustración 9. Primer Túnel de viento construido por los hermanos Wright.**

### **3.2.DEFINICIÓN TÚNEL DE VIENTO.**

El Túnel viento lo podemos definir como una máquina que tiene la capacidad de generar corrientes de aire por medio de ventiladores, el flujo de aire que es impulsado por medio de un conducto de sección específica se puede variar para lograr condiciones de flujo para simular el movimiento de objetos que permitan analizar fenómenos aerodinámicos, como fuerzas y líneas corrientes que entran en contacto con ellos. Este tipo de sistemas también es utilizado para realizarle pruebas a ventiladores y generar las curvas características. Los experimentos en los túneles de viento permiten tener un método efectivo o preciso que no es de altos costos, para el análisis o investigaciones aerodinámicas para objetos. Las

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

posibilidades de uso de un túnel pueden dividirse principalmente en 3 ramas que son (BARLOW, 1999):

**Aerodinámica y teoría de fluidos:** medición de caudal, distribución velocidad y presión, número de Reynolds, visualización de flujo, arrastre sobre cuerpos y perfiles especiales, gradiente de presiones sobre perfiles aerodinámicos, medición de fuerzas de arrastre y sustentación sobre perfiles aerodinámicos, investigación del desarrollo de la capa límite en objetos mediante la medición de la distribución de carga total, efecto de las corrientes de aire sobre automóviles, trenes, edificios, esculturas, corrientes de aire sobre líneas de transmisión, antenas, vallas publicitarias, avisos informativos, semáforos, evaluación de equipos para deportes, termodinámica y transferencia de calor, procesos químicos (balances de materia y energía, convección libre y forzada, manejo de carta sicométrica, procesos de secado de productos vegetales, dispersión de contaminantes).

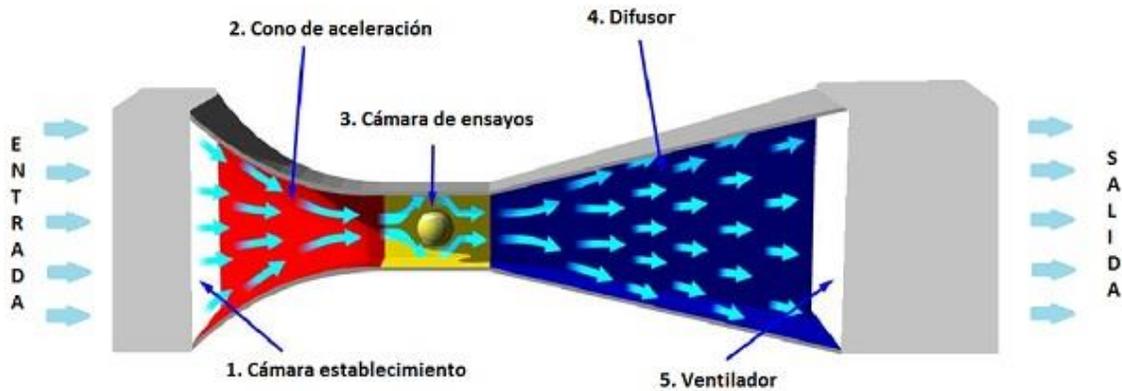
**Calibración:** generación de curvas de ventiladores, calibración de medidores de flujo y presión.

**Diseño de ventiladores, alabes y hélices:** se logra mediante la combinación de las dos primeras ramas, en donde es necesario implementar las técnicas de medición y adquisición de datos relevantes de la teoría aerodinámica y combinarlo en rendimiento y eficiencia mostrada por el ventilador.

### 3.3. TÚNELES DE VIENTO A NIVEL NACIONAL.

Un túnel de viento es un sistema que genera una corriente de aire, limitado por un conducto de sección específica y/o variable a lo largo del mismo, para lograr condiciones especiales en el flujo y simular el movimiento de objetos con el fin de analizar fenómenos aerodinámicos, como fuerzas y líneas de corriente, entre otros. Como se muestra en la Ilustración 10; En el túnel también es posible analizar el rendimiento y funcionamiento de ventiladores generando sus curvas características (Cordoba., 2012).

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |



**Ilustración 10. Túnel de viento tomado de M&A motor racing.**

Actualmente en Colombia existen varios desarrollos de Túneles de Viento que se han realizado en Universidades con fines educativos y permiten que los estudiantes puedan realizar experimentos de diferentes índoles, las cuales pueden ser aplicadas en diversas líneas de investigación como aeronáutica, arquitectura, agricultura, automovilismo, entre otros, en esos experimentos se logran analizar muchos fenómenos que pueden presentarse antes de realizar cualquier desarrollo en los campos anteriormente nombrados. Podemos citar algunas aplicaciones como en la aeronáutica, donde ha permitido hacer el análisis del comportamiento de los aviones cuando se presentan turbulencias; en la arquitectura se puede estudiar cómo los vientos muy fuertes afectan la estructura de puentes y edificios, con el fin de hacer los análisis y cálculos necesarios para evitar que las corrientes de aire afecten o dañen la estructura. En el sector de la agricultura, permiten analizar y simular el comportamiento de los vientos en los cultivos, para prevenir o mitigar posibles daños, y poder construir barreras de prevención. El Túnel de Viento construido en la universidad Nacional (Ilustración 11), es un dispositivo que maximiza la energía que tiene un flujo de aire. Se encajona en una pequeña región, de tal manera que pueda obtener una mayor velocidad, esas velocidades se utiliza para realizar diversas clases de estudios. La máxima velocidad que pueden adquirir los vientos dentro del túnel es de 72km/h (Martinez, 2011).

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |



**Ilustración 11. Túnel de viento desarrollado en la Universidad Nacional de Colombia. (Martínez, 2011).**

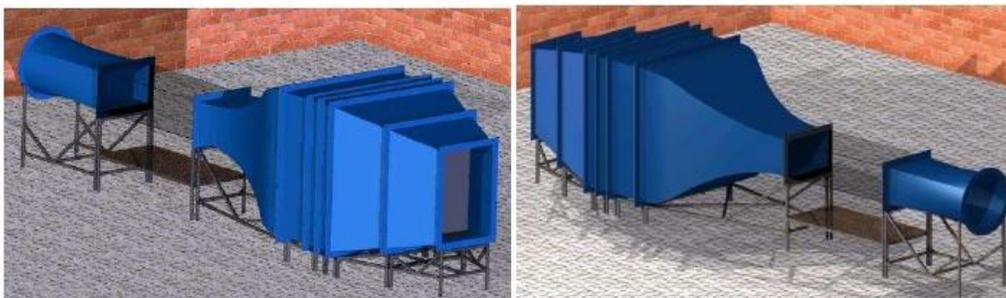
El Túnel de Viento se ha construido en su totalidad en la Universidad Nacional y tiene un enfoque de experimentación en ámbitos como agricultura, mecánica, física y arquitectura. El funcionamiento de este dispositivo se caracteriza por la fuerza y la potencia que puede brindarles a los flujos constantes de aire. De igual forma, permite manejar diferentes niveles de velocidad que pueden ayudar a experimentar en diferentes campos de investigación como los mencionados anteriormente. El diseño del Túnel de Viento, fue realizado por el profesor del departamento de física: Roberto Martínez; él menciona la importancia de este tipo de artefactos, ya que pueden servir para comprobar las capacidades aerodinámicas de una estructura en el caso de la arquitectura, al experimentar la resistencia frente a fuertes corrientes de viento. Esto puede ayudar a determinar cuáles son los materiales que se deberían utilizar a la hora de construir edificaciones, en qué medida y cantidad, y también impulsaría la creación de estrategias encaminadas a la reducción del deterioro de la estructura. En el campo de la aeronáutica ayudaría a evaluar la capacidad de reacción ante turbulencias y en la mecánica automotriz serviría de guía a la hora de diseñar nuevos modelos de automóviles, ya sea para carreras profesionales o usos cotidianos y de consumo. En la agricultura, se utiliza para prevenir el daño de los cultivos al construir barricadas u otras edificaciones que pueden ayudar a cortar o disminuir fuerzas de corrientes de vientos que se pueden presentar. Esta clase de túneles se usan también en la industria aeronáutica para probar nuevos diseños de avión y saber, por ejemplo, cómo será el comportamiento de la nave ante una turbulencia. Del mismo modo, en la Fórmula 1 los nuevos diseños de carros se experimentan con estos dispositivos. De esta manera se ahorra dinero y se evitan riesgos. Fueron cerca de seis millones de pesos los que se invirtieron en

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

este túnel de viento. En este sentido, los docentes reflexionan sobre el apoyo que debería existir para construir dispositivos de este estilo en todas las universidades del país, para así impulsar nuevos sectores de investigación e incluso de trabajo para el país (Martinez, 2011).

La Universidad Eafit de Medellín cuenta en su Laboratorio de fluidos, con un prototipo de un Túnel de Viento de circuito abierto, como se muestra en la Ilustración 12, que fue construido y diseñado de acuerdo a la norma ASHRAE 51, se utiliza como herramienta para la enseñanza y la experimentación de modelos aerodinámicos y prueba de ventiladores. El Túnel tiene una velocidad de trabajo de 30m/s, la cual es variable por medio de un variador de frecuencia Danffus VLT 5000, cuenta con un ventilador axial centrifugo de 33 Pulgadas de diámetro, el cual tiene una potencia de 10HP, funciona con un voltaje de 220 Voltios, cuenta con sistema de comunicación a través de un micro controlador PIC 16F873 y su programa en memoria se realiza a través del protocolo de transmisión de datos en serie RS-232 y RS-485.

En la Universidad Pontificia Bolivariana se ha desarrollado, desde 2005, un túnel de viento de gran tamaño, tal como se presenta en la Ilustración 13, en un túnel de viento subsónico con velocidad máxima de 41m/s, utiliza un propulsor axial CT365 que mueve hasta 35,34 m<sup>3</sup>/hr, consumiendo 18,65kW de potencia eléctrica. La velocidad angular del propulsor puede alcanzar un máximo de 1280rpm, cuando su motor eléctrico gira a 1700rpm aproximadamente, dicho motor puede desarrollar hasta 25 hp de potencia. En la Ilustración 14 se pueden apreciar algunos detalles relevantes de dicho túnel.



**Ilustración 12 Túnel de viento Universidad Eafit Medellín.**

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |



1

**Ilustración 13. (1) Vista completa Túnel de viento Universidad Pontificia Bolivariana.**



2



3



4



5

**Ilustración 14. (2) Cámara de pruebas, (3) Tablero eléctrico, (4) Centro de mando y (5) Propulsor. Túnel de viento Universidad Pontificia Bolivariana.**

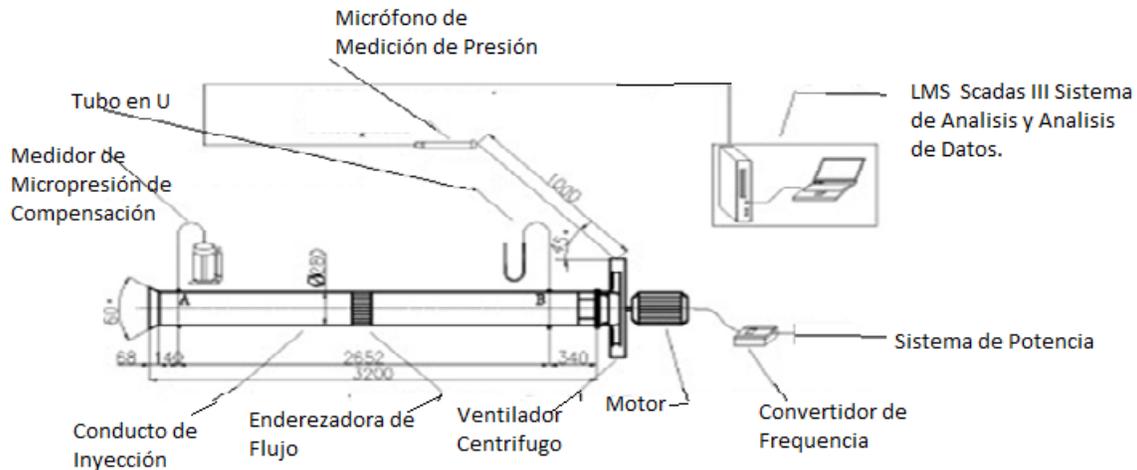
En la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá se realiza un trabajo titulado **“Caracterización de un Túnel de Viento de Bajas Velocidades”** elaborado por F. Camacho, D. García, R. Martínez del Departamento de Física de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, quienes lograron el diseño de un túnel de viento se pone a prueba mediante la caracterización del mismo, esto implica un estudio detallado de las caídas de presión y los perfiles de velocidad de diversos flujos, los cuales proporcionar el conocimiento necesario del comportamiento del flujo a través del túnel. Entre los resultados encontrados se obtuvo una velocidad máxima de 72 Km/h en la sección de prueba, además de esto se encontró que es esencial la implementación de diversas mejoras en el diseño del túnel (Camacho, 2011).

|  |  |         |            |
|--|--|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |  | Versión | 03         |
|  |  | Fecha   | 2015-01-22 |

### 3.4. TÚNELES DE VIENTO A NIVEL INTERNACIONAL.

A nivel internacional los túneles de viento han tenido diversas aplicaciones, estudios y desarrollos, en esta sección desglosaremos algunos de estos trabajos al respecto.

En la escuela de Energía e Ingeniería Eléctrica de la Universidad Xi'an Jiaotong, ubicada en la ciudad de Xi'an en el centro de la República Popular de China, los investigadores Mao Yijun, Liu Xiaoliang y Yuan Minjian realizaron un trabajo publicado en Applied Acoustics que se tituló **“Estudio Experimental sobre la reducción de Ruido de álabes hacia atrás de un Ventilador Centrifugo industrial”**, este tratado se centra en el ruido que las palas curvadas hacia atrás (BC) y hacia adelante (FC) tienen en los ventiladores centrifugos de hojas múltiples. El estudio experimental se ha llevado a cabo para estudiar la reducción de ruido de un ventilador centrifugo industrial. En primer lugar, las características de rendimiento y el ruido del ventilador centrifugo se pusieron a prueba para comparar las similitudes y diferencias de los ventiladores FC y BC en cuanto a la configuración geométrica de las volutas, el objetivo de las pruebas experimentales fue validar si los efectos de las diferentes modificaciones en el rendimiento del ventilador y el ruido son representativos y encontrar un buen juego impulsor-voluta para reducir el ruido del ventilador centrifugo sin reducir el rendimiento, los resultados experimentales muestran que una buena modificación de los acoples no solo podría reducir el ruido, sino, que también podría obtener un aumento en el rendimiento del ventilador y extender su rango de operación (Mao Yijun, 2009). El montaje experimental empleado en este estudio se puede apreciar en las ilustraciones 15 y 16.



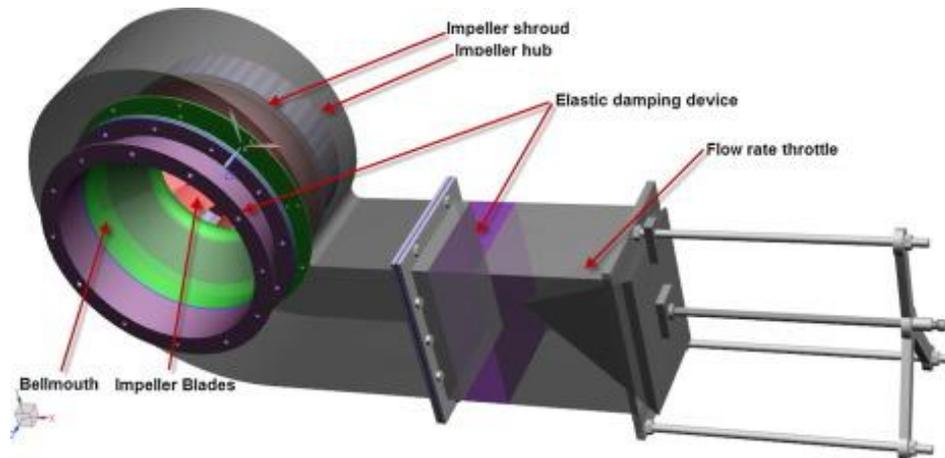
**Ilustración 15. Croquis de la instalación de prueba (Mao Yijun, 2009).**

|  |  |         |            |
|--|--|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |  | Versión | 03         |
|  |  | Fecha   | 2015-01-22 |



**Ilustración 16. Fotografía de la configuración de la prueba en la cámara hemi-anechoica (Mao Yijun, 2009).**

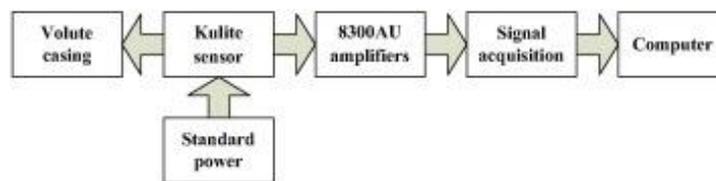
Un colectivo conformado por Jianhua Zhang, Wuli Chu, Haoguang Zhang, Yanhui Wu y Xingjie Dong de la Escuela de Potencia y Energía de la Universidad Politécnica del Noroeste de la ciudad de Xi'an en el centro de la República Popular de China, del Centro de Innovación Cooperativa de Avanzada de Motores Aeronáuticos de Beijing capital de la República Popular de China y del Instituto de Investigación de la Industria China Shipbuilding Corporación Industrial, realizaron un estudio denominado **“Investigaciones Numéricas y Experimentales de las Características Aerodinámicas y Aeroacústicas Inestables de un Ventilador Centrifugo de Alabes Hacia Atrás”**, trabajo publicado en Applied Acoustics, estudio numérico de los comportamientos aerodinámicos y aeroacústicas de un ventilador centrifugo de alabes atrasados que se realizó bajo dos condiciones de flujo importantes como son BEP y 1,3xBEP (siglas en ingles de punto de mejor eficiencia) se utilizaron tres dimensiones de simulación numérica del campo de flujo inestable para la configuración completa del conjunto impulsor-voluta y así determinar la fuente de los aeroacústicos. Para localizar el flujo, las perturbaciones inestables y las fluctuaciones de la presión de la pared cerca del campo en diferentes puntos estratégicos de la voluta se calcularon utilizando un código numérico que resuelve las ecuaciones del flujo promediadas según los esfuerzos de Reynolds (RANS). Las intensidades y las posiciones de las fuentes aeroacústicas se identificaron mediante el análisis de los espectros de frecuencias. Las variables de flujo no estacionarios proporcionados por cálculos CFD (técnica numérica que permite solucionar de manera aproximada las ecuaciones gobernantes de un medio continuo específico, permitiendo comprender el efecto de la geometría empacada en los patrones de flujo y transferencia de calor (NIETO, 2004)), fueron utilizados como insumos en la ecuación Williams-Hawkings para estimar los tonos de ruido del ventilador. Los resultados del cálculo de aeroacústicos mostraron que el ruido de la voluta era mucho mayor que el ruido de la cuchilla y el propagado por el conducto de la salida del ventilador. Los resultados de los cálculos mostraron buena concordancia con los resultados experimentales (ZHANG Jianhua, 2016). El montaje experimental empleado en este estudio se puede apreciar en las ilustraciones 17 y 18.



**Ilustración 17.** La representación de componentes para el ventilador de la prueba (ZHANG Jianhua, 2016).



(a)



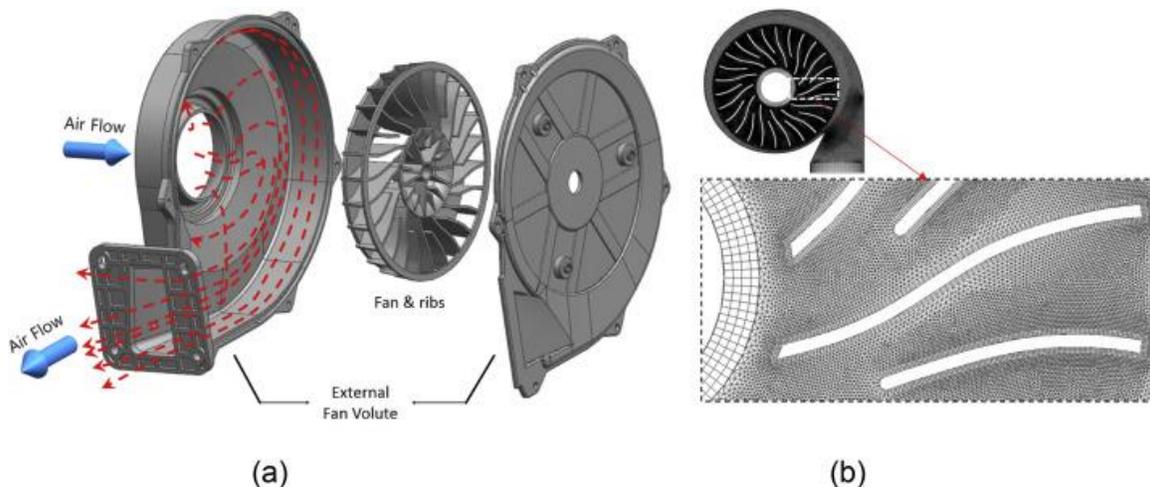
(b)

**Ilustración 18.** La instalación del sistema de prueba (ZHANG Jianhua, 2016).

En la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Pusan en Corea del Sur, Young-Tae Lee y Hee-Chang Lim realizaron un estudio denominado **“La evaluación del rendimiento de varios nervios en el interior de un ventilador centrífugo”**, que tuvo como objetivo el desarrollo de un diseño optimizado de un ventilador centrífugo que consta de varios nervios, basado en las evaluaciones de desempeño y cambio en la forma de sus componentes. Diversos componentes como los nervios giratorios del ventilador colocados en una variedad de condiciones de funcionamiento, se evalúan numérica y experimentalmente. La evaluación se basa en los

|   |                                      |         |            |
|---|--------------------------------------|---------|------------|
| <br>ITM<br>Institución Universitaria | INFORME FINAL DE<br>TRABAJO DE GRADO | Código  | FDE 089    |
|   |                                      | Versión | 03         |
|   |                                      | Fecha   | 2015-01-22 |

parámetros de rendimiento, incluyendo las presiones de entrada y de salida, velocidad de flujo, par y potencia del ventilador centrífugo. El análisis numérico sugiere que la combinación del método de marco giratorio múltiple y el método estándar de turbulencia  $k - \epsilon$  era apropiado para la simulación de las características de flujo interno y para la predicción de la potencia. Los resultados numéricos se compararon con pruebas bajo condiciones experimentales cuidadosamente diseñadas. Basándose en los resultados y en función de la forma de salida del ventilador, la velocidad de flujo aumentó gradualmente a un valor 7% más que el modelo existente. Los resultados experimentales y el cálculo numérico se encontraban en buen acuerdo, en particular en la condición de borde de salida a presión atmosférica. Además, entre los cuatro impulsores diferentes estudiados, el tipo de ventilador con los nervios del ventilador curvado se asoció con el menor desempeño, alcanzando un caudal máximo de  $2,2 \text{ m}^3/\text{min}$  y un par motor de  $0.09 \text{ Nm}$  (Young-Tae Lee, 2016). En la ilustración 19 puede verse el modelo y la malla del estudio en cuestión.

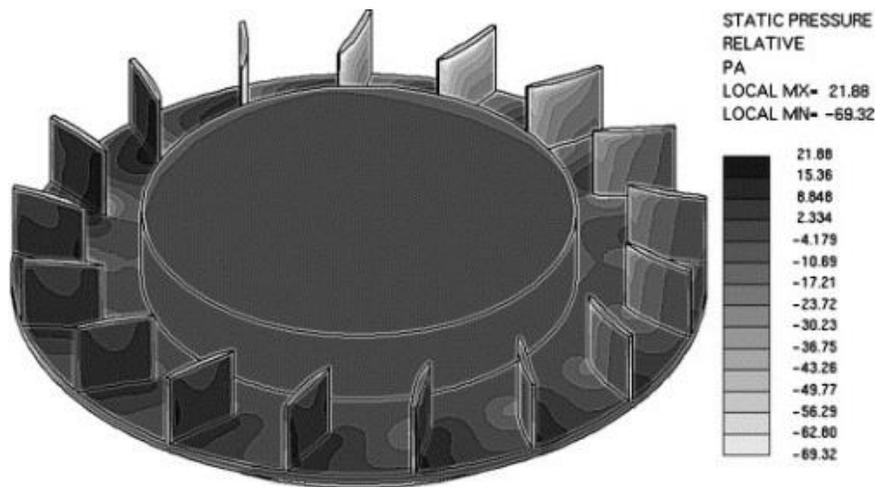


**Ilustración 19. (a) Imagen de la proyección del modelo de ventilador (caso 1) y (b) la malla correspondiente (Young-Tae Lee, 2016).**

En el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Taiwán de Ciencia y Tecnología, en Taipéi, Taiwán en la República de China, Sheam-Chyun Lin y Chia-Lieh Huang trabajaron “Un estudio experimental y numérico integrado de un ventilador centrífugo curvado hacia delante”, este trabajo estudió un ventilador centrífugo FC empleado en el enfriamiento de los ordenadores portátiles mediante la utilización de un sistema integrado que consistió en el diseño del ventilador, la fabricación de la maqueta, la verificación experimental y la simulación numérica. En el diseño de un ventilador de refrigeración de alto rendimiento ( $45 \times 45 \times 7 \text{ mm} \times 3$ ) está diseñado bajo las limitaciones de espacio de los ordenadores portátiles con el énfasis en la forma de la hoja, el ángulo de entrada de hoja, y la geometría de salida de la carcasa. En un primer momento, una superficie de sustentación NACA4412 se adopta como la forma de la hoja de base para que coincida con las características de baja velocidad de un ventilador pequeño. A continuación, mediante el ajuste del ángulo de entrada de la cuchilla, además, un nuevo diseño de la geometría de salida se incluyó para mejorar la tasa de flujo de volumen con menos ruido. Los prototipos fueron fabricados por máquinas CNC para llevar a cabo las verificaciones experimentales correspondientes. Para

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

asegurar un resultado fiable las pruebas de rendimiento y de ruido del ventilador se ejecutaron en cámaras AMCA y semianecoicas según código CNS-8753. Por otra parte, los patrones de flujo en todo el ventilador se visualizaron utilizando técnicas numéricas. Mediante la comparación de los resultados experimentales y numéricos, un buen acuerdo entre ellos indica un gran potencial para reducir el costoso trabajo experimental mediante el uso de herramientas CFD. En resumen este estudio presenta un esquema confiable y sistemático para generar un pequeño ventilador centrífugo FC para la refrigeración de los ordenadores portátiles (Sheam-Chyun Lin, 2002 Vol. 26). En la ilustración 20 se muestran los resultados numéricos sobre la geometría estudiada en esta investigación.



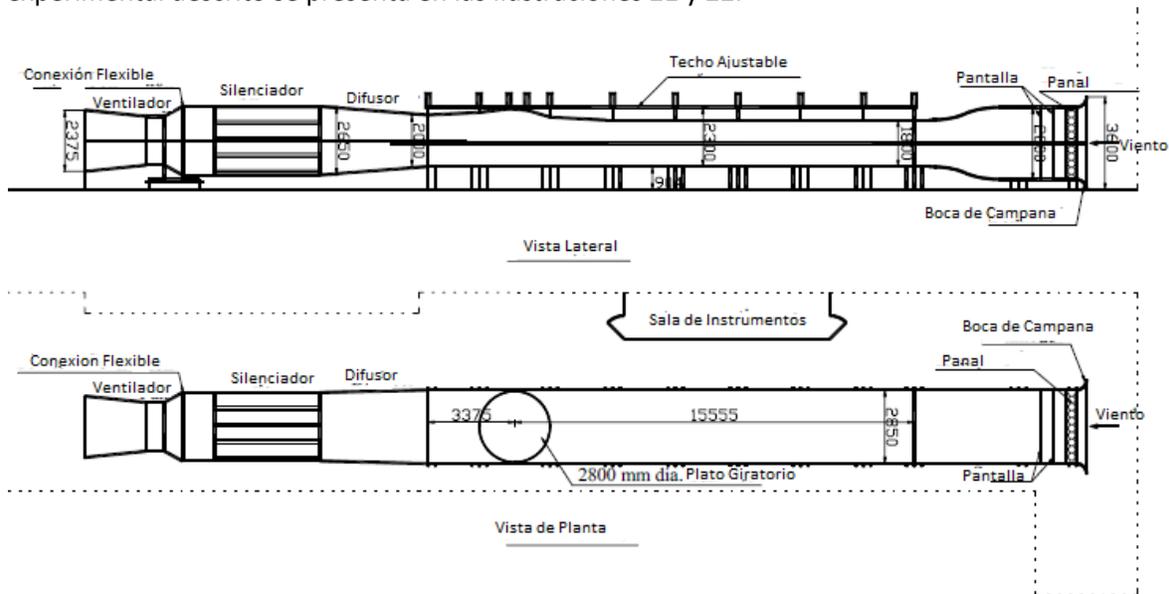
**Ilustración 20. Distribución de la presión sobre la superficie del rotor (Sheam-Chyun Lin, 2002 Vol. 26).**

Un estudio titulado **“Utilización de anemómetro de hilo caliente a temperatura constante para mediciones de velocidad de aire en túnel de viento”**, realizado por Patricia Martin Rodriguez<sup>1</sup>, Eduardo Martin Rodriguez<sup>2</sup>, Acir Mercio Loredo-Souza<sup>3</sup>, Edith Beatriz Camano Schettini<sup>4</sup>, <sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echavarría, La Habana, Cuba <sup>2</sup>Centro de Investigaciones de Microelectrónica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echavarría, Cujae La Habana, Cuba, <sup>3</sup>Laboratorio de Aerodinámica de la Construcción, Universidad Federal de Rio Grande del Sur, Porto Alegre, Brasil, <sup>4</sup>Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidad Federal de Rio Grande del Sur, Porto Alegre, Brasil; muestra que la calidad de las mediciones de las velocidades en un túnel de viento depende en gran medida de la correcta utilización de los instrumentos utilizados para obtenerlas, por esta razón es de gran importancia conocer las características y potencialidades que presentan los instrumentos para este fin. El anemómetro de hilo caliente es el instrumento más utilizado en los túneles de viento para las mediciones de las características de las fluctuaciones de la velocidad del viento, estas características son de gran importancia ya que para simular la capa límite atmosférica en un túnel de viento es necesario desarrollar un modelo físico del flujo turbulento atmosférico de manera tal que los parámetros que lo caracterizan se reproduzcan lo más fielmente posible dentro del túnel. Este trabajo tuvo como

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

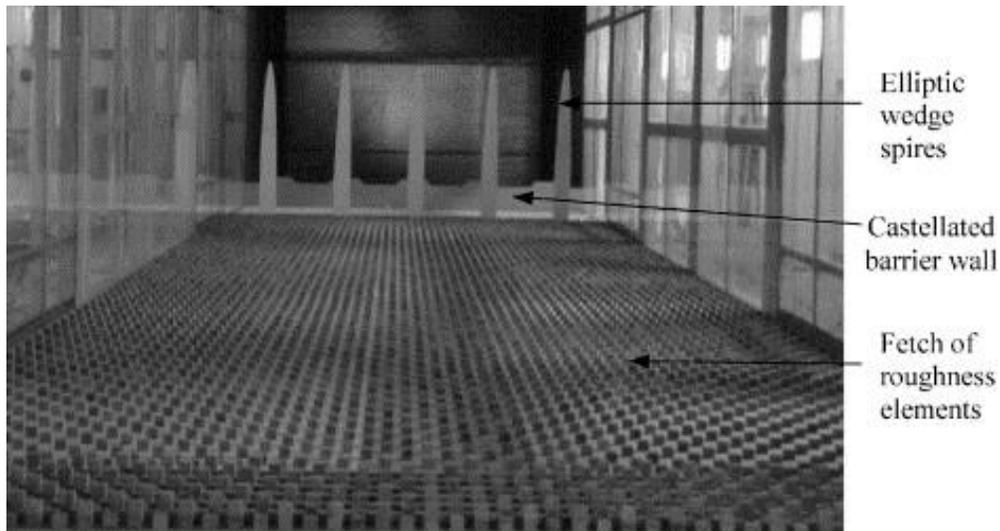
objetivos describir las características del anemómetro de hilo caliente a temperatura constante que permiten la obtención de las características de las fluctuaciones de las velocidades de viento y ejemplificar la aplicación CTA para obtención de velocidades en el túnel de viento del laboratorio de Aerodinámica de las construcciones de la UFRGS, Brasil (Martin, 2014).

En la Universidad Nacional de Singapur (NUS por sus siglas en ingles), T. Balendra, D. A. Shah, K. L. Tey, S. K. Konk realizaron un trabajo titulado **“Evaluación de las Características de Flujo en el Túnel de Viento NUS-HDB”** este tratado se refiere al diseño y construcción de un nuevo túnel de viento de capa limite a baja velocidad en la Universidad Nacional de Singapur. Se llevaron a cabo en el túnel de Viento una serie de evaluaciones de flujo característico para determinar la uniformidad del flujo y para verificar su adecuación para simular la capa limite atmosférica para los estudios de carga de viento sobre las estructuras. Este trabajo presenta los resultados de las mediciones de velocidad media en el túnel vacío utilizando un tubo de Pitot-estática y las mediciones de las velocidades medias, fluctuantes y características de flujo en una capa limite simulado usando un anemómetro de hilo caliente. Las mediciones de la velocidad media en las condiciones de un túnel vacío mostraron una distribución de velocidad uniforme de dos dimensiones y bajas intensidades de turbulencia. La simulación de viento natural en terreno urbano se llevó a cabo utilizando el método de simulación Counihan que consiste en una pared de barrera almenada, torres de cuña de cuartos de elíptica y elementos de rugosidad. Se encontraron resultados simulados para comparar bien con los datos atmosféricos de terreno urbano en una escala de 1:375 (Balendra, 2002). El montaje experimental descrito se presenta en las ilustraciones 21 y 22.



**Ilustración 21. El laboratorio NUS-HDB túnel de viento (todas las dimensiones en mm)**

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |



**Ilustración 22. Disposición de una pared de barrera, agujas y elementos de rugosidad**

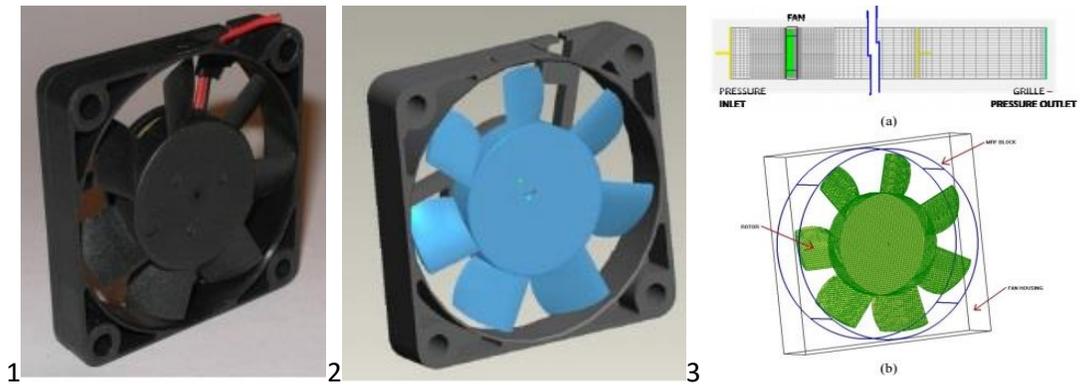
En enero del 2011 en Perú, se elaboró un libro digital por Salome Gonzales Chávez <sup>a</sup>, José Chiroque Valdera<sup>a</sup>, William Urcuhuaranga Jesús, de <sup>a</sup> La Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería y de <sup>b</sup> La Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, este trabajo consistió en el cálculo, diseño, construcción y puesta en funcionamiento de un Túnel de Viento de circuito abierto, elaborado en su totalidad con materiales e ingeniería nacional. Su diseño se basó en los principios de la Dinámica de Fluidos y en el criterio ingenieril para su dimensionado y construcción como elemento prototipo de investigación. Este banco de pruebas, primero en su género hecho en el Perú, se ha instalado en el Laboratorio de Energía de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UNI. Consta principalmente de tres subsistemas: el colector o cono de contracción, la cámara de estancamiento o cámara de pruebas y, el difusor; como elemento simulador de viento se diseñó un ventilador axial con potencia de motor de 30 HP y variador de velocidad en el rango de 1 m/s a 15 m/s. Su utilización está orientada a investigación, para caracterización experimental de pequeños aerogeneradores y aerogeneradores modelo, estabilidad dinámica de aerogeneradores, diseño óptimo de palas, diseño óptimo de veletas y elementos de control y seguridad del aerogenerador y, optimización del generador eléctrico de imanes permanentes. Todas estas pruebas hechas en el Túnel de Viento se caracterizan, comparativamente a las que se realizan en campo, por la reducción significativa de costos y el ahorro de tiempo en los logros. Los cálculos para su diseño se realizaron empleando las ecuaciones de flujo compresible, tomando como variables de entrada la velocidad simulada de viento variable entre 1 m/s y 15 m/s, con un comportamiento uniforme y estable de flujo en la cámara de pruebas. Así mismo se calcularon apropiadamente las pérdidas de altura energética que se generan a lo largo de los componentes del túnel, a fin de dimensionar bien el sistema simulador de flujo constituido por un soplador-extractor de tipo axial. Como resultados del dimensionado y diseño adecuados ex-ante, mediante pruebas se obtuvo que el Túnel de Viento alcanza velocidades de ensayo uniformes de hasta de 15 m/s, así como la estabilidad y linealidad de flujo en la cámara de pruebas teniendo en

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

su interior el aerogenerador en prueba. Otra de sus ventajas logradas es la estabilidad vibracional y acústica del sistema (Gonzales Chávez, Chiroque Valdera, & Urcuhuaranga Jesús, 2012).

Una investigación realizada por Gokul V. Shankaran y M. Baris Dogruoz de Ansys Inc, titulada **“Validación de un modelo de ventilador avanzada con enfoque de marco de referencia múltiple”** trata sobre los ventiladores utilizados en recintos electrónicos, incluyendo ventiladores axiales, impulsores y sopladores centrífugos, cuando se requiere refrigeración por convección forzada. En la dinámica de fluidos computacional (CFD por sus siglas en inglés) los modelos de armarios electrónicos han empleado tradicionalmente modelos de ventiladores abstractos, estos modelos de ventiladores poseen geometrías abstractas y con características de flujo numérico altamente simplificadas. La geometría del ventilador es por lo general una cara plana rectangular o circular, con o sin una región de flujo concéntrico interno que representa un cubo. Las características de flujo típicamente se resumen por un proveedor que suministra la curva tasa de flujo de carga y presión (P-Q) que, junto con la ecuación de continuidad, se aplica entre las caras de entrada y escape del ventilador. En general, se espera que estas curvas de ventilador se obtengan a través de una experimentación cuidadosa en aparatos de laboratorios conforme a los códigos de ensayo publicados por sociedades como ASME Y AMCA. La utilidad de este enfoque depende de la margen de error aceptable del diseño de flujo térmico, así como la situación de enfriamiento o aplicación específica. En los últimos tiempos, este margen de error aceptable ha ido disminuyendo de manera constante, lo que lleva a una búsqueda de técnicas de modelado de ventiladores alternos, más precisos y más robustos. El Marco de Referencia (MRF, Multiple Reference Frame) técnica de modelado de ventilador múltiple es uno de estos enfoques, Aunque esta técnica de modelado del ventilador ya ha estado en uso en otros lugares, es relativamente nueva en el enfriamiento de la electrónica. La validación insuficiente a veces se ha sugerido como una de las razones de la falta de uso generalizado del modelo de ventilador MRF. Este documento tiene como objetivo proporcionar una validación del modelo de ventilador MRF a través de comparaciones adecuadas entre los modelos de ventiladores abstractos y el MRF. Se hacen comparaciones en términos de la curva (P-Q) del ventilador, y los componentes del vector de flujo no axiales. La curva del ventilador dada por el proveedor se utiliza como la base para la comparación. El modelo CFD de un túnel de viento aprobado AMCA se utiliza en este estudio. La comparación de las características de flujo muestra que el enfoque del modelo de ventilador MRF es más representativo del prototipo que la del modelo de ventilador abstracto (Shankaran & Baris Dogruoz, 2010). En la ilustración 23 se puede apreciar el modelo de ventilador estudiado.

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |



**Ilustración 23. (1) Ventilador prototipo, (2) modelo CAD y (3) malla en el modelo CFD.**

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

### 3. METODOLOGÍA

---

La metodología a seguir en el proyecto se realiza de acuerdo a las 5 fases descritas en la propuesta.

#### 4.1. EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE E IDENTIFICACIÓN DE NORMAS

Esta fase del proyecto se llevó a cabo mediante la recopilación de datos a partir de fuentes secundarias de información como lo son la consulta de libros, revistas especializadas y documentos digitales hallados en diferentes direcciones electrónicas en Internet. Los resultados de esta fase fueron reportados en el capítulo anterior del presente informe.

Para poder establecer el estado del arte respecto a desarrollos similares a nivel nacional e internacional, se trató de hacer una vigilancia tecnológica sobre equipos similares que sirvieran para la enseñanza y que hubieran sido específicamente diseñados con propósitos académicos y didácticos, además de la instrumentación utilizada en otros laboratorios. De esta manera, siguiendo un proceso organizado, selectivo y permanente, se logró captar información con el propósito de tomar decisiones, en este caso la decisión fue la de implementar un determinado tipo de túnel de viento que se ajustará a las necesidades del ITM.

Se identificaron las siguientes bases de datos suscritas en la Institución:  
Science Direct.  
Scopus.

Se escribió en español el título del tema de consulta:  
Túnel de viento.

**Se usaron posibles sinónimos del tema, como:**

- Aplicaciones de Túneles de Viento.
- Desarrollos Túneles de Viento.
- Túnel de viento.
- Curvas características Túnel de viento.
- Curvas característicos ventiladores centrífugos.
- Banco experimental Túnel de viento.
- Investigaciones Túneles de viento.
- Pruebas para Túneles de viento.
- Pruebas para ventiladores centrífugos.
- Túneles de viento abiertos.
- Modelos Túneles de viento.
- Construcción Túneles de viento.

**Se tradujo al inglés el título del tema y los posibles sinónimos:**

- Applications of Wind Tunnel.

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

- Development Wind Tunnel.
- Wind tunnel.
- Characteristic curves wind tunnel.
- Curves Centrifugal fans characteristics.
- Bank experimental wind tunnel.
- Wind Tunnels Research.
- Tests for Wind tunnels.
- Tests for centrifugal fans.
- Tunnels Open wind.

Se analizaron las opciones encontradas por las bases de datos con el fin deseleccionar los artículos y documentos más relacionadas al trabajo a realizar. Se consultaron trabajos realizados al respecto en diferentes universidades, revisando en la WEB, tras planear y seguir estrategias de búsqueda como la descrita para las bases de datos, buscando fuentes bibliográficas confiables que pudieran ayudar a desarrollar el proyecto. Se indagó en internet acerca de posibles normas que actualmente existieran para el diseño y construcción de túneles de viento, con el fin de obtener unas ideas claras de los parámetros a tener en consideración para su fabricación, y las variables que intervienen. Se consultó también, acerca de posibles desarrollos que se hubieran hecho en Colombia, como universidades y en la industria, con el fin de analizar cómo fueron construidos los prototipos de túneles de viento que existen en el momento.

Otra herramienta fundamental fue la de investigar en fuentes bibliográficas, libros y tesis, que existen actualmente en las diferentes Universidades de la ciudad de Medellín, como lo fueron:

- Tesis “Diseño de un Túnel de Viento para prueba de ventiladores y perfiles aerodinámicos,” Universidad Eafit.
- Publicación “Desarrollo primer Túnel de Viento en Colombia” Roberto Martínez, Profesor Departamento de Física Universidad Nacional de Colombia.
- Tesis “Diseño de un banco experimental para la caracterización de aerogeneradores de baja potencia” Universidad Industrial de Santander.
- Tesis “Diseño y construcción de un Túnel de Viento”. Universidad De Centroamericana.

## **4.2. CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES**

Primero que todo, existen normas para la realización de un túnel de viento, como lo son “AMCA 210-99”, “AMCA 205-10”, e “ISO 5801:2007”, expuestas en el capítulo anterior, se revisó en la norma cuáles son las reglas para realizar un túnel de viento, se analizó exhaustivamente la norma, identificando las recomendaciones para realizar las mediciones de las variables como presión, temperatura y velocidad, estableciendo la relación existente entre ellas.

Para poder proceder a caracterizar las variables a medir en el dispositivo propuesto, se describió su comportamiento, y se hizo la selección y/o el diseño de cada uno de los elementos que componen el túnel de viento: Ventilador BCI 135, Brida cuadrada, Transición de rectangular a circular, Brida circular, Bidas PVC, Tubo de PVC, Dámper, Abrazaderas, Soporte para Túnel de viento, Tubo Pitot, Dámper, Tablero de mando, Caja control, Difusor, Compuerta, Bases niveladoras. La arquitectura del mismo y, de igual manera, se seleccionó la instrumentación requerida para la medición de cada una de las variables involucradas.

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

### 4.3.MODELADO

#### 4.3.1 Modelado CAD.

El tercer objetivo fue la construcción de los modelos, los planos, y el ensamble final del túnel de viento. Con respecto al modelamiento geométrico se utilizó el programa parametrizado de diseño asistido por computadora de piezas tridimensionales llamado SOLID EDGE®, el modelado con este programa y sus herramientas de ensamble fue fácil, el entorno de modelado de piezas permitió construir modelos sólidos tridimensionales con una operación base, como un bloque o un cilindro, sobre el cual se realizaron las operaciones de pieza para crear cada modelo, estas operaciones incluyen, entre otras, las siguientes operaciones: extrusión, vaciado, revolución, barrido, por secciones. El programa mismo se encarga del seguimiento de los elementos de construcción, manteniéndolos disponibles para una operación de ensamble posterior. Tras realizar cada una de las piezas, y aplicar las medidas referentes a cada una, se procedió a ensamblar las piezas para conformar el dispositivo dependiendo de su orden y las relaciones existentes entre sus superficies. Posteriormente, se continuó con la elaboración del plano de ensamble y los planos de cada una de las piezas diseñadas importándolas al entorno de trabajo de plano, se estableció el formato de impresión, se organizaron los planos de vista distribuyéndolos en el espacio de trabajo del formato seleccionado, se colocaron las cotas a cada vista reportando la información necesaria para fabricación y ensamble. Todos los modelos CAD y planos se reportan en el siguiente capítulo y el anexo 1.

Al momento de diseño del prototipo de túnel se optó por un túnel abierto que es el más utilizado para fines didácticos, los costos de diseño e implementación son menores y la complejidad en su construcción es mínima comparada con otros tipos de túneles. El túnel está compuesto por 5 partes principales como son:

- ✓ Sección de ensayos
- ✓ Difusor de salida
- ✓ Sección de acondicionamiento de flujo
- ✓ Sección de contracción
- ✓ Generador de flujo

#### 4.3.2 Modelo de mecánica de fluidos

Para modelar fenomenológicamente el dispositivo diseñado se consultaron en la norma los cálculos que propone para el túnel de viento, se selecciona el libro: Mecánica de fluidos Fundamentos y aplicaciones. Yunus A. Cengel. John M. Cimbala, en el cual se basó el fortalecimiento de conceptos, analizándose entre la norma y el libro para ampliar la investigación sobre dichos cálculos y estudiándose en el libro los métodos para hacer los cálculos con exactitud. El fenómeno a modelar fue el perfil de velocidades al interior del túnel, tal como se describió en el capítulo precedente.

### 4.4.LISTADO DE MATERIALES Y COTIZACIÓN

Una vez realizado el diseño preliminar, se procedió a determinar los costos de cada uno de los componentes y generar así un precio global que incluyera no sólo los materiales sino los precios de implementación y las horas que se utilizaron en el diseño. Se hicieron varios análisis de las características y especificaciones técnicas de los materiales. Debido a que el presente proyecto del

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

Túnel de viento inicialmente se construirá con fines académicos, no se cuenta con mucho presupuesto, por eso se buscaron materiales de bajo costo y buena calidad, que cumplieran con las exigencias de trabajo del Túnel.

Inicialmente se realizó un sondeo, con el fin de seleccionar posibles materiales que cumplieran con las características necesarias para las condiciones de funcionamiento del Túnel de viento, se hicieron cotizar varios tipos de materiales PVC, Acrílico, lámina rolada con varios proveedores que manejan este tipo de materiales; al obtener las cotizaciones se determinó que algunos de estos materiales son de alto costo; como el PVC que es un material de elevado costo, y mucha resistencia; debido a que en la mayoría de proveedores venden las tuberías completas de 6 metros y eran necesarios aproximadamente 2.5 metros solamente, otro factor que lo afecta es la variación en el precio del petróleo. El acrílico es un material de elevado costo, porque los materiales que lo componen en su mayoría son derivados del petróleo. Tiene propiedades y características como versatilidad para darle diferentes formas, por estas características se convierte en un material demasiado costoso; saliendo del presupuesto con que posiblemente cuente la institución para realizar el proyecto.

La lámina rolada es un material que no tiene un precio muy elevado, debido a que sus materiales de elaboración son de bajo costo y fáciles de adquirir; Se puede acomodar fácilmente al presupuesto de la institución, el inconveniente es que al darle la forma diametral tocaría sellar herméticamente la unión entre ambos extremos; este inconveniente lo convierte en un limitante para el proyecto.

Después de realizar los respectivos análisis de los costos de los materiales anteriormente nombrados se dedujo que el material más viable para su construcción de la sección del difusor es la tubería de PVC. Cuando se hicieron las averiguaciones de los materiales con los proveedores, se logró ubicar un proveedor que distribuye accesorios de PVC, y comercializa recortes de tubería de PVC a bajo costo. En su inventario cuentan con tuberías de diámetro de 10 pulgadas, que es la que seleccionamos para el proyecto.

Para la construcción de las otras secciones que conforman el Túnel viento se definió que se utilizaría lámina de acero al carbono de espesor 1/16 de pulgada por su bajo costo. Fue necesario reformular algunos aspectos de materiales y consideraciones de ingeniería, para poder ajustar los costos iniciales.

#### **4.5. GUÍA DE TRABAJO**

Tras descargar, de la página del ITM, el formato institucional “FDE 048 Guía de Trabajo” para las guías de laboratorio, se lograron identificar los requisitos y la estructura del formato, y se dieron a conocer los recursos, el procedimiento de operación, los parámetros para la realización del informe de práctica de laboratorio; se diligenciaron todos los campos de las guías, los campos básicos de identificación de la práctica que se hará, igualmente se nombraron las competencias, el contenido de las prácticas, se enumeraron los recursos necesarios que se necesitan para hacer las prácticas, se explicó el procedimiento a seguir para realizar una buena práctica y se definieron las guías de experimentos a realizar, ofreciendo todas las ilustraciones, esquemas, dibujos, y demás elementos que facilitan la explicación. Este documento sirve también para instruir, acerca del funcionamiento del equipo, a los laboratoristas que serán encargados del mismo. La Guía de Trabajo se presenta en el capítulo N° 6.

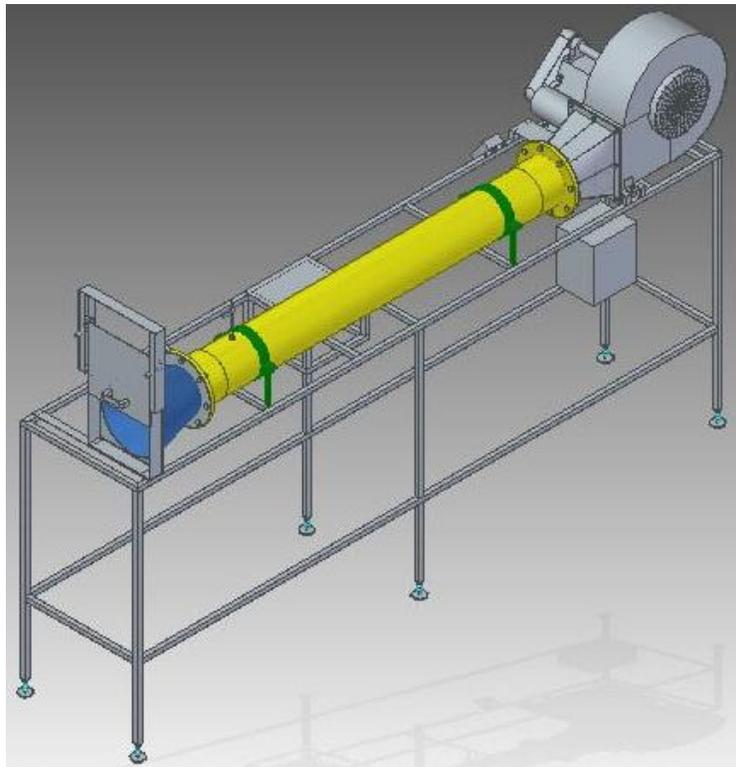
|  |                                      |         |            |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | INFORME FINAL DE<br>TRABAJO DE GRADO | Código  | FDE 089    |
|  |                                      | Versión | 03         |
|  |                                      | Fecha   | 2015-01-22 |

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

## 4. RESULTADOS

### 5.1. SELECCIÓN Y MODELADO DE COMPONENTES Y ENSAMBLE

El modelado de piezas por medio del programa SOLID EDGE® permitió construir modelos sólidos tridimensionales a partir de una operación base, como es la construcción de un bloque o un cilindro, sobre el cual se realizan las operaciones de pieza como son: extrusión, redondeo, revolución, para crear un modelo, realizando operaciones diversas según la pieza a diseñar (ver los planos en el anexo 1), y según el ensamble final (Ilustración 24) de la misma, todo ello realizado gracias a la facilidad del programa en mención.



**Ilustración 24 Ensamble final.**

#### 5.1.1 Ventilador BCI 135.

La selección del ventilador centrífugo (Ilustración 25) se realizó porque funciona con una estabilidad y eficiencia relativamente buena. La selección también se hace por las características de funcionamiento, como parámetros de velocidad, potencia del motor, caudal y presión que debe de circular el aire para satisfacer las necesidades para la operación del Túnel de viento.

### 5.1.2 Brida rectangular y empaques neoprenos.

Elemento que permite la unión entre el ventilador y la transición de rectangular a circular, (Ilustración 26). La construcción del modelo geométrico de este elemento se realiza de acuerdo a las dimensiones de la salida del ventilador, en el programa CAD, inicialmente se realizan dos rectángulos con las siguientes dimensiones 272mm x 367mm y 352mm x 443mm, posteriormente se hace una extrusión de 3mm. Se realizan las perforaciones para su anclaje, lado superior a una distancia de 153mm y lado inferior a 202mm, tomando como base su centro.

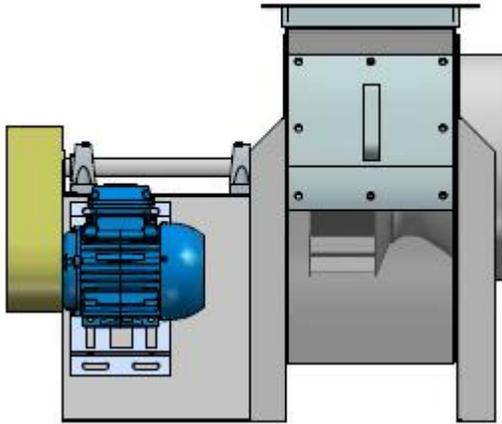


Ilustración 25. Ventilador BCI 135.

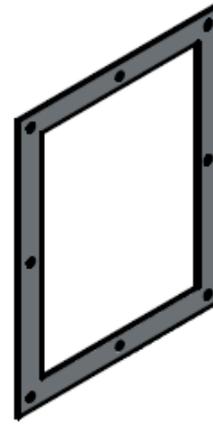


Ilustración 26. Brida Rectangular.

### 5.1.3 Transición de circular a rectangular.

Para realizar la transición de circular a rectangular, como se muestra en la Ilustración 27, se inicia de la siguiente manera: en el entorno chapa se realiza un rectángulo de medidas 367mm x 272mm, en la parte superior e inferior del rectángulo, en el centro, se realiza una abertura de 2mm, paralelo al rectángulo a una distancia de 300mm se traza un cuadrado de 254mm, con el comando redondeo se tocan los cuatro extremos y se convierten en un círculo de 254mm; después en la opción Sincrónico se selecciona transición ordenado, después en la opción rango de contorno se selecciona rango de segmento, se selecciona el círculo y se acepta, después se selecciona el rectángulo y se acepta, después en la opción de espesor se coloca 2mm y se da clic sobre las figuras, obteniendo la transición.

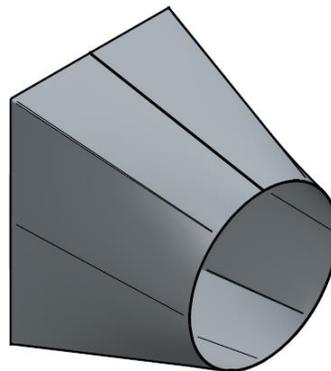
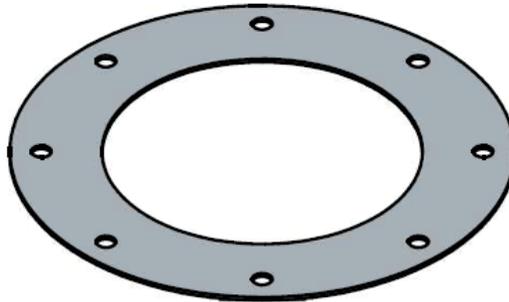


Ilustración 27. Transición.

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

#### 5.1.4 Brida circular.

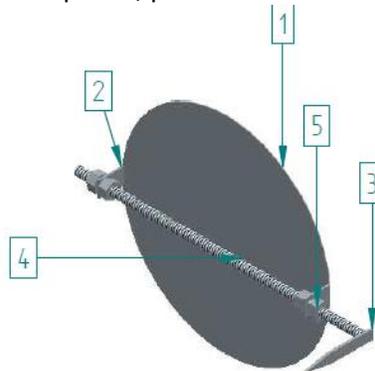
Ilustración 28, elemento que permite la unión entre la transición y la brida de PVC. La construcción de la pieza se realiza haciendo dos circunferencias de los siguientes diámetros: 254mm 400mm, respectivamente; posteriormente se realiza, con el comando extruir, extrusión de 3mm, después se realizan 8 perforaciones equidistantes con el comando patrón.



**Ilustración 28. Brida Circular.**

#### 5.1.5 Dámper.

Ilustración 29, elemento utilizado para regular el caudal de aire suministrado por el ventilador. Las partes que conforman el Dámper se hacen por separado. En primer lugar, se hace una circunferencia de diámetro 253mm, después se realiza una extrusión de 1mm. En segundo lugar, se realiza un rectángulo de 30mmX20mm, con un círculo a una distancia de 8mm desde el extremo con un diámetro de 10mm, posteriormente se realiza una extrusión de 2mm. En tercer lugar, se realiza una circunferencia de 10mm y se extruye a una longitud de 350mm, con el comando rosca se realiza rosca de 10mm a una longitud de 350mm. Después de tener los 3 archivos, con la opción ensamble, se procede a hacer el ensamble de las piezas, para obtener finalmente el Dámper.



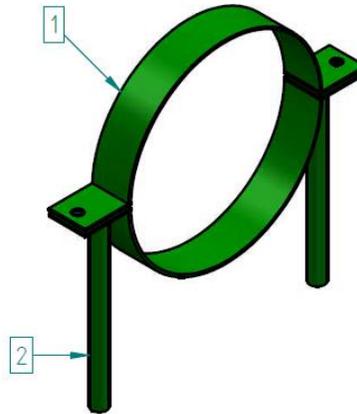
**Ilustración 29 Dámper.**

#### 5.1.6 Abrazaderas.

Ilustración 30, la abrazadera se usa como soporte de sujeción del tubo de PVC. Se realiza con la unión de dos modelos de la siguiente manera, en la opción modelo se realizan dos circunferencias

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

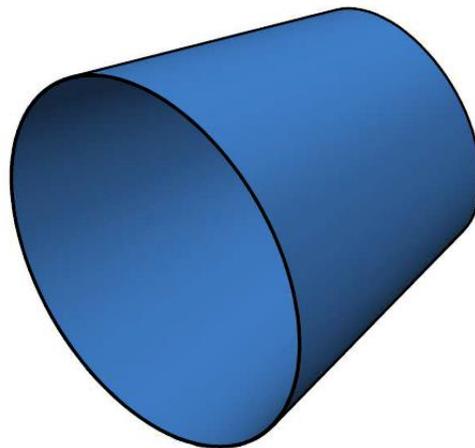
de diámetro 134mm y 132mm respectivamente, después a partir de su centro en ambos extremos se realiza un corte de 4mm, después de los extremos se realizan rectángulo de 3mm x 34mm, en los 4 extremos. Al finalizar se realiza extrusión de 50mm, el paso siguiente es realizar las perforaciones en los extremos de sujeción de diámetro 13mm, a una distancia 20mm a partir de su extremo. Para realizar los ejes que soportan las abrazaderas sobre la estructura, se realiza un archivo independiente, y se procede de la siguiente manera: se hace una circunferencia de 20mm de diámetro y se realiza una extrusión de 238mm. El siguiente paso es en el entorno ensamble, se procede a unir las piezas anteriormente realizadas, obteniendo la abrazadera.



**Ilustración 30. Abrazaderas.**

### 5.1.7 Cono Difusor.

El Difusor se usa para disminuir la velocidad de flujo con la menor pérdida de energía posible. Generalmente se desea reducir la velocidad de flujo de aire en la menor distancia posible. Se hace en el entorno pieza la figura de medio cono, se realizan dos semicircunferencias de radio 210.5mm y 133mm respectivamente, a una distancia de 340mm entre ambas. El paso siguiente es realizar una revolución de 360 grados, obteniendo el cono difusor como se muestra en la Ilustración 31.



**Ilustración 31. Cono difusor.**

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

### 5.1.8 Compuerta.

La compuerta o cámara de ajustes, se usa para estabilizar el flujo de aire, y es donde se acondicionan las mallas de seguridad y el acondicionador de flujo, su principal función es reducir las variaciones de la velocidad en la dirección de flujo. Para su realización se hacen en archivos independientes cada una de las platinas que conforman la compuerta; en el entorno pieza se hace un rectángulo de dimensiones 523mm x 66mm, con el comando extruir, se hace una extrusión de 3mm de espesor, 2 unidades. Después se realiza un rectángulo de 470mm x 40mm, con el comando extruir se hace una extrusión de 3mm de espesor, con el comando perforación se hacen 6 orificios de 16mm de diámetro a una distancia de 116mm, 4 unidades. Posteriormente en el entorno pieza se realiza un rectángulo con las siguientes dimensiones 425mm x 422mm, con el comando extruir se hace una extrusión de 3mm de espesor. La siguiente pieza son los ejes de bloqueo de la compuerta se realiza una circunferencia de 20mm de diámetro, con el comando extruir se hace una extrusión de 45mm. Después en el entorno ensamble se llaman las piezas anteriormente realizadas y se unen las piezas hasta obtener la compuerta, como se muestra en la Ilustración 32.

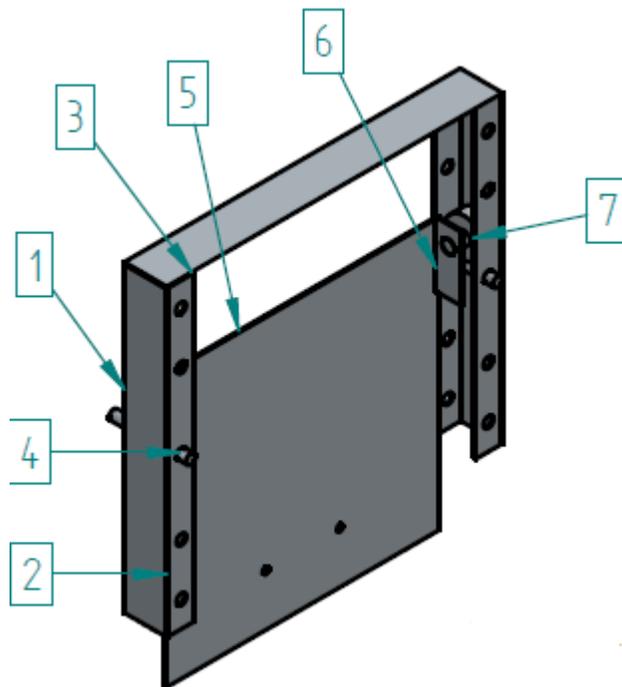


Ilustración 32. Compuerta.

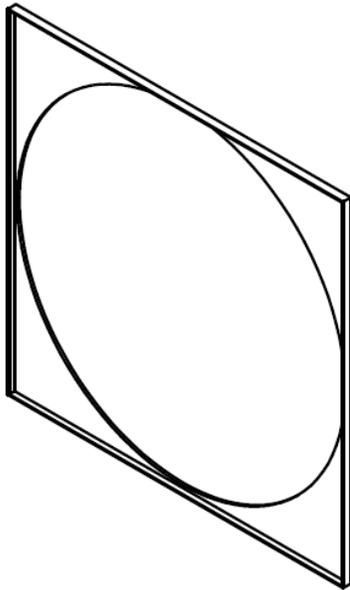
### 5.1.9 Parte trasera difusor.

Ilustración 33, la parte trasera del difusor se utiliza con el fin de dar la hermeticidad entre el difusor y la compuerta y la unión entre ambas piezas. En el entorno pieza se realiza un rectángulo con la siguiente dimensión 425mm x 422m, posteriormente con el comando extruir se realiza una extrusión de 20 mm de espesor, después se realiza otra extrusión de 17mm de espesor con dimensiones 422mm x 419mm. El siguiente paso es realizar una perforación de diámetro 416mm con un espesor de 3mm.

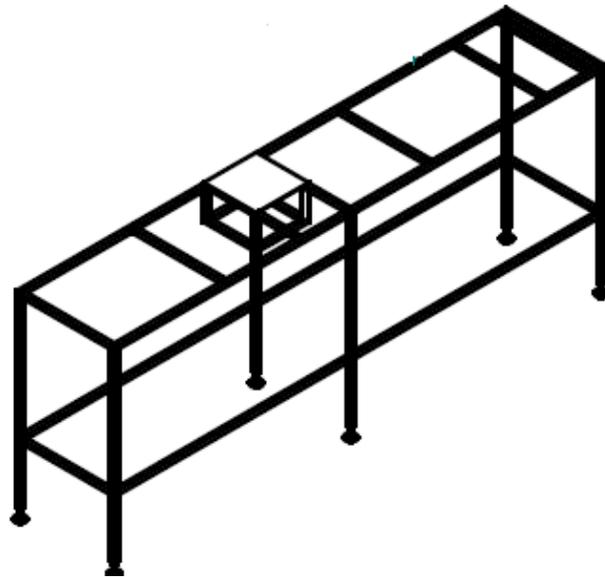
|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

### 5.1.10 Mesa Soporte.

La mesa soporte tiene la función de soportar todos los elementos que conforman el Túnel de viento, además sirve de soporte de otros elementos adicionales como el panel de control, y el computador. Toda la estructura se construye en tubo cuadrado de 30mm x 30mm en acero carbono. Para todos los tubos que conforman la mesa soporte se realiza el mismo procedimiento, la única diferencia es la longitud. En el entorno pieza se realiza un cuadrado de 30mm x 30mm de espesor 2mm, y un corte en sus extremos a 45°; posteriormente con el comando extruir se hace las extrusiones a las longitudes determinadas para cada corte, así sucesivamente para cada tubo. Después en el entorno ensamble se llaman todas las tuberías y se proceden a hacer las uniones entre ellas hasta obtener la mesa soporte de la Ilustración 34.



**Ilustración 33. Parte trasera difusor.**



**Ilustración 34. Mesa soporte.**

### 5.1.11 Instrumentación industrial para medir las variables involucradas.

El caudalímetro de aire Fluke 922 Airflow Meter, como se muestra en la Ilustración 35, es un instrumento de mano que mide la presión diferencial y calcula la velocidad del aire y su caudal.

El caudalímetro viene con:

- Funda
- Estuche de transporte.
- Tubos y correa para tubos.
- Cuatro baterías AA (instaladas).
- Manual de uso.
- Muñequera.



Ilustración 35. Caudalímetro de aire Fluke 922.

## 5.2.DISEÑO ELÉCTRICO

La realización del plano eléctrico se hizo por medio del programa AUTOCAD® empleado en el diseño de instalaciones eléctricas, ya que consiste en un conjunto de elementos conectados entre sí por medio de conductores. En la Ilustración 36 se presenta la conexión eléctrica del Túnel de Viento, disponible con mejor detalle en el Anexo 2 del presente informe.

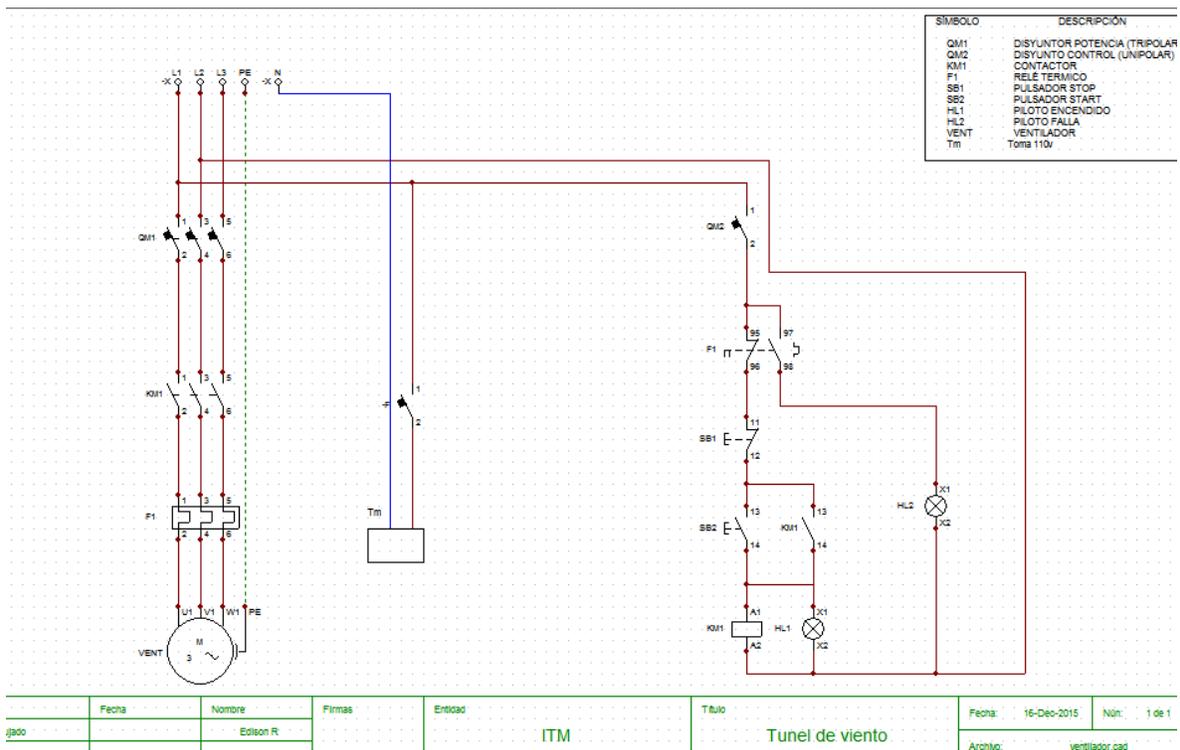


Ilustración 36.Sistema eléctrico.

### 5.3.1 Secuencia de funcionamiento circuito de Control

Inicialmente el control eléctrico, cuenta con breker o disyuntor unipolar KM2, para la protección del circuito eléctrico; posteriormente se conecta un relé térmico F1, que va conectado a un paro de

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

emergencia y un pulsador stop SB1 que va conectado a un piloto que nos indica que el circuito esta en falla HL2, después se conecta a un pulsador start SB2, el cual energiza la bobina del contactor KM1, que cierra un contacto normalmente abierto del contactor KM1, que activa piloto de activación HL1 que indica que el ventilador se encuentra encendido.

### 5.3.2 Secuencia de funcionamiento circuito de potencia

Inicialmente se tiene un breker o disyuntor tripolar, que se usa como protección del circuito de potencia, posteriormente se conecta el contactor KM1, que es activado al energizar la bobina de este contactor, que a su vez enciende el ventilador. Toma corriente a 110voltios, conexión para computador.

### 5.3.3 Componentes del circuito eléctrico.

- Breker tripolar a 220 voltios.
- Breker unipolar.
- Contactor a 220 voltios.
- Relé térmico a 220 voltios.
- Paro de emergencia a 220voltios.
- Pulsador Stop a 220 voltios.
- Pulsador Start a 220 voltios.
- Piloto de encendido a 220 voltios.
- Piloto falla a 220 voltios.
- Toma corriente a 220 voltios.
- Cable vehicular.

### 5.3.4 Diagrama instrumentos Túnel de Viento.

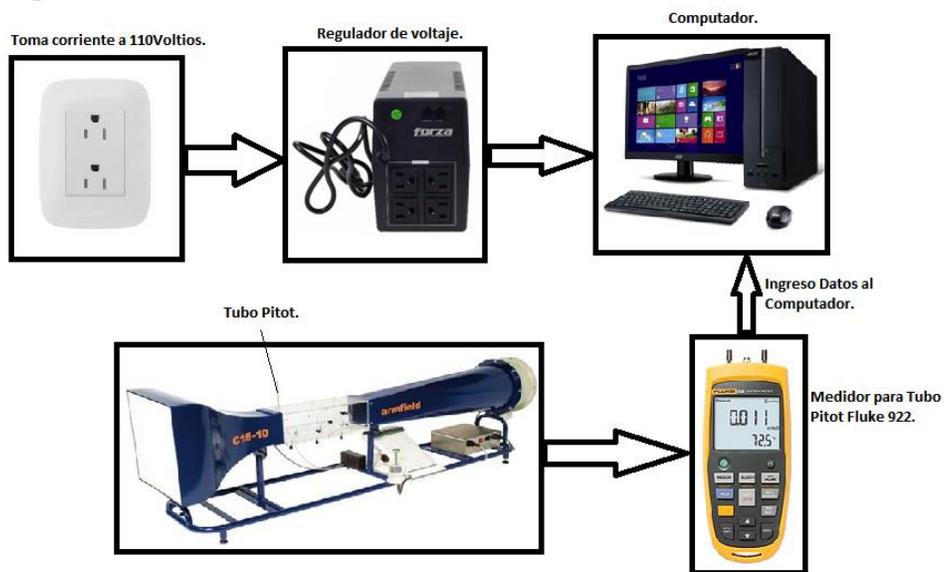


Ilustración 37 Diagrama de instrumentos Túnel de Viento.

|  |  |         |            |
|--|--|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |  | Versión | 03         |
|  |  | Fecha   | 2015-01-22 |

### 5.3.PRESUPUESTO

A continuación, se hace la relación de los costos de los materiales necesarios para la construcción del Túnel de viento, donde se detalla los precios de cada elemento y el valor total de la implementación, en el anexo 3 se encuentran las cotizaciones realizadas:

| <b>PRESUPUESTO</b>   |                 |                     |                        |                      |
|--|-----------------|---------------------|------------------------|----------------------|
| <b>Elemento</b>  | <b>un<br/>d</b> | <b>V<br/>Unidad</b> | <b>Valor<br/>Total</b> | <b>Opcion<br/>al</b> |
| Tubo cuadrado 30mmx30mm Esp 2mm largo 4000mm corte a 45º   | 2               | 26666               | 53333                  |                      |
| Tubo cuadrado de 30mmx30mm Esp 2mm largo 800mm corte a 45º | 2               | 5333                | 10666                  |                      |
| Tubo cuadrado de 30mmx30mm Esp 2mm largo 1500mm            | 4               | 10000               | 40000                  |                      |
| Tubo cuadrado de 30mmx30mm Esp 2mm largo 1000mm            | 2               | 6666                | 13332                  |                      |
| Tubo cuadrado de 30mmx30mm Esp 2mm largo 470mm             | 2               | 3333                | 6666                   |                      |
| Tubo cuadrado de 30mmx30mm Esp 2mm largo 3940mm            | 2               | 25000               | 50000                  |                      |
| Tubo cuadrado de 30mmx30mm Esp 2mm largo 740mm             | 8               | 5000                | 40000                  |                      |
| Tubo cuadrado de 30mmx30mm Esp 2mm largo 430mm             | 2               | 3000                | 6000                   |                      |
| Tubo cuadrado de 30mmx30mm Esp 2mm largo 430mm corte a45º  | 2               | 3300                | 6600                   |                      |
| Tubo cuadrado de 30mmx30mm Esp 2mm largo 219mm             | 4               | 2000                | 8000                   |                      |
| Tubo cuadrado de 30mmx30mm Esp2mm largo 53mm               | 4               | 1000                | 4000                   |                      |
| Tubo cuadrado de 30mmx30mm esp2mm largo 400mm corte 45º    | 2               | 2700                | 5400                   |                      |
| Tubo cuadrado de 30mmx30mm Esp2mm largo 219mm              | 4               | 1300                | 5200                   |                      |
| Platina de 30mm x 30mm Esp 5mm                             | 6               | 3700                | 22200                  |                      |
| Platina de 800mm x 128mm Esp 3mm                           | 1               | 5300                | 5300                   |                      |
| Platina de 430mm x 430mm Esp 3mm                           | 1               | 11000               | 11000                  |                      |
| Base niveladora con rotula                                 | 6               | 4700                | 28200                  |                      |
| Ventilador BCI 135, Motor 1HP-1800 RPM                     | 1               | 233000              | 233000                 |                      |
| Brida cuadrada para transición                             | 1               | 15000               | 15000                  |                      |
| Brida circular para transición                             | 1               | 15000               | 15000                  |                      |
| Flanche de PVC   | 2               | 110000              | 220000                 |                      |
| Tubo Pitot   | 1               | 310000              | 310000                 |                      |
| Tubo de PVC de 10 pulg x 2.50m                             | 1               | 120000              | 120000                 | 438000               |
| Abrazaderas fabricadas para tubo de PVC                    | 2               | 17000               | 34000                  |                      |
| Lamina difusor   | 1               | 22500               | 22500                  |                      |
| Brida circula para difusor                                 | 1               | 15000               | 1500                   |                      |
| Platina de 422mm x 425mm Esp 3mm                           | 1               | 35000               | 35000                  |                      |
| Platina de 470mm x 66mm Esp 3mm                            | 2               | 34000               | 34000                  |                      |
| Platina de 470mm x 40mm Esp 3mm                            | 4               | 35000               | 35000                  |                      |
| Platina de 523mm x 66mm Esp 3mm                            | 1               | 36000               | 36000                  |                      |
| Varilla de diámetro 15mm x 120mm                           | 2               | 6000                | 12000                  |                      |

|  |  |         |            |
|--|--|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |  | Versión | 03         |
|  |  | Fecha   | 2015-01-22 |

|   |    |             |         |  |
|---|----|-------------|---------|--|
| Manigueta   | 1  | 12000       | 12000   |  |
| Polea de rodillo                                    | 2  | 16000       | 32000   |  |
| Platina de 800mm x 50mm Esp 3mm                     | 1  | 5500        | 5500    |  |
| Platina de 25.4mm x 50mm Esp 3mm                    | 2  | 1200        | 1200    |  |
| Platina en L ventilador                             | 2  | 5500        | 11000   |  |
| Tornillo M16x50                                     | 16 | 1271        | 20336   |  |
| Tornillo M12x25                                     | 16 | 293         | 4688    |  |
| Tuerca M16  | 16 | 175         | 2800    |  |
| Platinas para soporte Dámper de 30mm x 22mm esp 3mm | 2  | 3700        | 6400    |  |
| Esparrago de diámetro 10mm longitud 50cm            | 1  | 7000        | 7000    |  |
| Platina de 12mm x 80mm espesor 3mm                  | 1  | 2200        | 2200    |  |
| Lamina de diámetro 253mm espesor 1mm                | 1  | 3000        | 3000    |  |
| Tuercas M10   | 4  | 125         | 500     |  |
| Tuerca M12  | 16 | 145         | 2320    |  |
| Contactador 220v                                    | 1  | 25000       | 25000   |  |
| Guardamotor   | 1  | 60000       | 60000   |  |
| Start Stop  | 1  | 9000        | 9000    |  |
| Caja control PVC                                    | 1  | 15000       | 15000   |  |
| Paro de emergencia                                  | 1  | 12000       | 12000   |  |
| Toma corriente                                      | 1  | 2200        | 2200    |  |
| Breker unipolar                                     | 1  | 12000       | 12000   |  |
| Breker tripolar                                     |    |             |         |  |
| Cable vehicular en metros                           | 10 | 500         | 5000    |  |
| Computador + Regulador de voltaje                   | 1  | 125000<br>0 | 1250000 |  |
| <b>Total</b>  |    |             | 7827041 |  |

#### **5.4.MANTENIMIENTO DEL TÚNEL DE VIENTO DIDÁCTICO.**

Es necesario brindar al personal encargado del túnel de viento didáctico, las herramientas necesarias para realizar un adecuado mantenimiento preventivo con el fin de garantizar un adecuado funcionamiento del equipo y evitar posibles deterioros de cada uno de los elementos que lo componen.

Es la labor que se realiza de manera anticipada con el fin de evitar posibles averías o deterioros de un equipo; cuando se realizan este tipo de labores periódicas o con determinada frecuencia podemos evitar muchos inconvenientes durante el normal funcionamiento de un equipo. Algunas de las tareas básicas que normalmente podemos realizar en un mantenimiento preventivo son: lubricación, ajustes, limpieza, calibración, reparación y cambios de pieza. Se recomienda que antes de realizar cualquier tipo de labor

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

de mantenimiento se debe desenergizar el equipo o accionar el paro de emergencia con el fin de evitar que cualquier persona lo pueda poner en funcionamiento cuando se estén haciendo labores de mantenimiento.

#### **7.4.1 Limpieza**

La limpieza del túnel de viento interior y exterior, es de gran importancia para conservar la higiene en el equipo. El personal encargado del equipo debe realizar una limpieza periódica del mismo para evitar que se acumulen partículas de polvo y otro tipo de residuos que puedan afectar el normal funcionamiento del túnel de viento. Se recomienda especialmente la limpieza de las aspas del ventilador y los exteriores e interiores de las secciones que lo conforman, esta limpieza se recomienda realizarla con paños y agua; en las partes donde halla demasiada acumulación de suciedad se puede utilizar algún tipo de solvente que nos permita remover estas acumulaciones con mayor facilidad.

#### **7.4.2 Mantenimiento del ventilador BCI 135**

Las actividades de mantenimiento que se le deben realizar al ventilador son la limpieza de aspas como se había nombrado en el párrafo anterior, revisión del estado de la banda y su tensión más o menos cada 48 horas de uso, lubricación de las chumaceras que soportan eje de transmisión cada 8 horas de servicio, limpieza de las aspas y caperuza del motor periódicamente con un paño y aplicación de agua, revisión del estado de los rodamientos del motor semestralmente de la siguiente manera: retirar guarda de seguridad, posteriormente se debe retirar la banda de transmisión, adicional a esto se retira la caperuza del motor y manualmente se gira el ventilador, este debe de girar libremente, si no gira libremente los rodamientos deben ser cambiados por unos nuevos, de acuerdo a especificaciones del fabricante.

#### **7.4.3 Mantenimiento Panel de Control**

Para el mantenimiento del panel de control se deben revisar periódicamente los contactos de los elementos de control, verificando que si se encuentren haciendo buen contacto; cuando se tengan problemas con contactos oxidados podemos utilizar limpiador de contactos CRC. Se recomienda, para la limpieza interna del tablero, utilizar aire a baja presión con el fin de remover las partículas de polvo que puedan haber alojadas en su interior. Se debe mantener el tablero de control totalmente hermético con el fin de evitar la penetración de agua y de partículas de polvo.

#### **7.4.4 Mantenimiento base soporte**

La base soporte del túnel de viento está construida en material de acero al carbono por lo que es propensa a la oxidación por tal motivo se le debe de aplicar una pintura anticorrosiva

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

que evite su oxidación y que posteriormente nos pueda traer problemas de inestabilidad en el equipo debido al deterioro de la estructura.

#### **7.4.5 Mantenimiento Tubo Pitot**

El tubo Pitot es un instrumento bastante delicado, que requiere de un cuidado especial para que este en muy buenas condiciones para realizar las mediciones en el Túnel De Viento Didáctico. Las labores de mantenimiento que se le deben hacer al tubo Pitot son de limpieza y revisión del tubo, esto puede ayudar a aumentar la confiabilidad del instrumento.

|  |  |         |            |
|--|--|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |  | Versión | 03         |
|  |  | Fecha   | 2015-01-22 |

## 5. GUÍA DE TRABAJO

### 1. IDENTIFICACIÓN

|                              |   |                  |  |                           |                 |                    |  |
|------------------------------|---|------------------|--|---------------------------|-----------------|--------------------|--|
| Asignatura                   |   |                  |  |                           |                 | Guía No.           |  |
| Área                         |   | Nivel            |  | VI                        |                 |                    |  |
| Código                       |   | Pensum           |  | 1                         |                 |                    |  |
| Correquisito(s)              |   | No tiene         |  | Prerrequisito(s)          |                 | No tiene           |  |
| Créditos                     | 4 | TPS              |  | TIS                       |                 | TPT                |  |
| <b>TRABAJO INDEPENDIENTE</b> |   |                  |  | <b>TRABAJO PRESENCIAL</b> |                 |                    |  |
| Trabajo Teórico              | 2 | Trabajo Práctico |  |                           | Trabajo Teórico | Trabajo Práctico 2 |  |

### 2. IDENTIFICACIÓN

| COMPETENCIAS   | CONTENIDO TEMÁTICO   | INDICADOR DE LOGRO  |
|--|--|---|
| Diagnosticar y Caracterizar un ventilador centrífugo aplicando los conceptos básicos adquiridos. | <ul style="list-style-type: none"> <li>Reconocimiento de los equipos y mesas de trabajo del laboratorio de mecánica de fluidos.</li> <li>Identificación de un túnel de viento y su utilidad en la vida moderna.</li> <li>Reconocimiento del túnel de viento del Laboratorio de Mecánica de Fluidos.</li> <li>Caracterización de un Ventilador Centrífugo.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Identifica las características generales de los equipos y mesas de trabajo del Laboratorio de Mecánica de Fluidos.</li> <li>Identifica y reconoce <i>los errores más representativos en la toma de datos.</i></li> <li><i>Reconoce las diferencias existentes de acuerdo a la configuración de los túneles de viento.</i></li> </ul> |

|  |                                      |         |            |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | INFORME FINAL DE<br>TRABAJO DE GRADO | Código  | FDE 089    |
|  |                                      | Versión | 03         |
|  |                                      | Fecha   | 2015-01-22 |

### 3. RECURSOS REQUERIDOS

| Recurso            | Cant. | Especificación                                    |
|--------------------|-------|---|
| Laboratorio        | 1     | Mecánica de fluidos                               |
| Mesa de Trabajo    | 1     | Disponible en laboratorio                         |
| Túnel de viento    | 1     | Disponible en laboratorio                         |
| Cámara Fotográfica | 1     | Cada grupo de trabajo debe llevarla a la práctica |
| Tacómetro          | 1     | Disponible en laboratorio                         |
|                    |       |   |
|                    |       |   |
|                    |       |   |
|                    |       |   |

### 4. PROCEDIMIENTO

#### 4.1 PREINFORME

A más tardar el día anterior a la práctica, cada grupo de trabajo deberá entregar un **Preinforme** que les permita preparar aspectos básicos asociados a las pruebas de laboratorio que se van a ejecutar, buscando de esta forma aprovechar al máximo el tiempo de práctica disponible. Este documento se recibirá a más tardar el día previo a la práctica a través del correo electrónico del docente, siguiendo el formato disponible para la práctica.

Para esta práctica, el **Preinforme** debe incluir los siguientes puntos:

- 4.1.1 Explique el principio de funcionamiento de un túnel de viento.
- 4.1.2 Diferencie las distintas configuraciones de un túnel de viento.
- 4.1.3 Identifique y defina el tubo Monsieur Pitot.
- 4.1.4 Explique el principio de funcionamiento del tubo Pitot.
- 4.1.5 Aplicaciones de los túneles de viento.
- 4.1.6 Aplicaciones del tubo Pitot.
- 4.1.7 Defina y explique que es el número de Reynolds.
- 4.1.8 Que es presión Dinámica, Estática y Total.

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

## 4.2 DURANTE LA PRÁCTICA EXPERIMENTAL

- 4.2.1 El docente del curso o el técnico de laboratorio explicaran brevemente las características de la mesa de trabajo disponible en el laboratorio.
- 4.2.2 Cada alumno o grupo de trabajo reportara las características técnicas más relevantes del equipo a utilizar para la práctica programada, cada reporte debe estar acompañado de fotos del equipo que evidencien los componentes más importantes.
- 4.2.3 Atendiendo las indicaciones previas a la práctica conecte el equipo disponible en el laboratorio y reporte el comportamiento de las diferentes presiones al cambiar la posición de medición del Tubo Pitot.

## 4.3 CUESTIONARIO

- 4.3.1 Especifique la utilidad de los túneles de viento en la industria.
- 4.3.2 Plantee por lo menos diez (10) normas de seguridad que según el criterio del estudiante o grupo se deben tener presentes el desarrollo de las prácticas de laboratorio.

## 5. INFORME DE LA PRÁCTICA

Una semana después de realizada la práctica y a través del correo electrónico del docente, en el formato que este último determine.

## 6. OBSERVACIONES

- 6.1 Si tiene dudas sobre la operación del equipo, consulte al docente o al técnico de laboratorio.

## 7. RECOMENDACIONES

El tener un conocimiento claro del papel que juega el número de Reynolds es clave para obtener experimentos exitosos en un túnel de viento.

Este número adimensional se utiliza en mecánica de fluidos para caracterizar el movimiento de un fluido cualquiera, los flujos con número de Reynolds bajos son lentos y suaves y se les conoce como flujos de tipo laminar, el número de Reynolds se define como:

$$Re = \rho v D / \mu$$

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

Dónde:

Re: número de Reynolds en el diámetro de conducto

$\rho$ : densidad del fluido, kg /m<sup>3</sup>

v: velocidad media del fluido en el diámetro de conducto, m/s

D: diámetro de la tubería

$\mu$ : viscosidad del fluido, kg/m-s

Los flujos con número de Reynolds elevados son rápidos e irregulares y se les conoce como flujos turbulentos, este número está en función de la densidad del fluido, la velocidad, la dimensión típica del fluido y la viscosidad. (Mott, 2006)

## 8. EXPERIMENTO

- Evaluar la uniformidad del flujo en la sección de pruebas.
- Determinar el factor de turbulencia en el centro de la sección de pruebas.

## 9. PROCEDIMIENTO DURANTE EL EXPERIMENTO

Se debe determinar la medición de las diferentes presiones (Dinámica, Estática y Total) y caudal para la caracterización de un ventilador centrífugo y establecer los errores a tener en cuenta en la medición y caracterización del mismo.

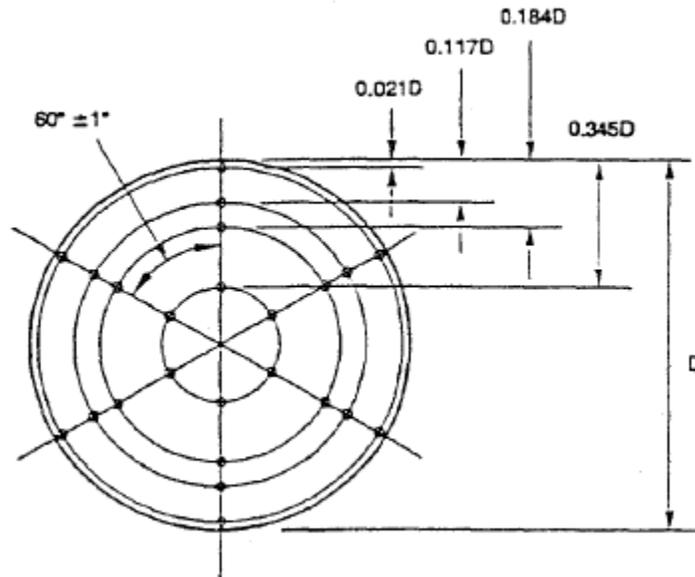
- Se fija el motor del ventilador a una velocidad para mantener un caudal constante.
- Se miden las presiones con el tubo Pitot en un punto y luego se desplaza sobre la línea de movimiento a determinadas distancias (Figura 1).

### **Paso a paso para la construcción de las curvas características de ventiladores.**

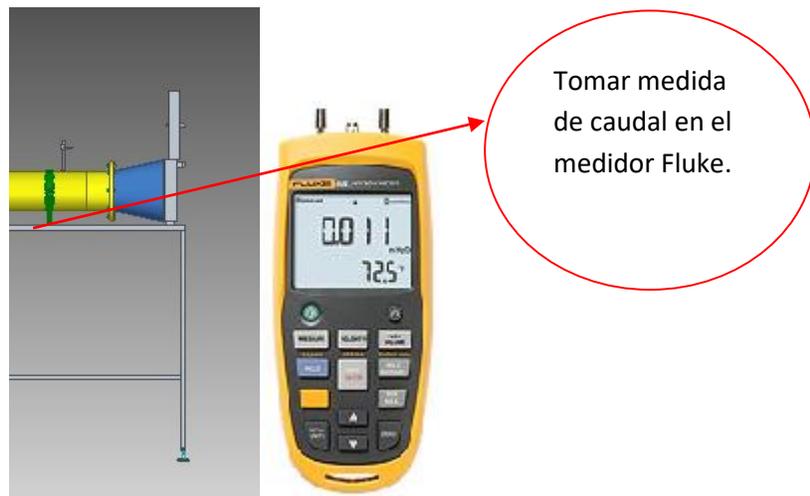
A continuación, se describe el procedimiento de los cálculos necesarios para realizar las prácticas de la construcción de curvas características; se deben resolver 10 ecuaciones para realizar las curvas características.

- Inicialmente se toma la medida del caudal en m<sup>3</sup>/s con el medidor Fluke, para comprobarlo al final se calculará a partir de las mediciones de la presión de la velocidad  $P_{v3}$  en el tubo pitot, ubicado en la parte superior del tubo de PVC; Se obtendrá la presión de velocidad ( $P_{v3}$ ) correspondiente a la velocidad media tomando las raíces cuadradas de las medidas individuales (**Figura 1**), sumando las raíces, dividiendo la suma por el número de mediciones (n), y el cociente elevarlo al cuadrado como se indica en la ecuación:

$$P_{v3} = \left( \frac{\sum \sqrt{P_{v3r}}}{n} \right)^2$$



**Ilustración 38 Puntos de recorrido en un conducto redondo<sup>6</sup>**



**Ilustración 39 Caudalimetro**

- **Velocidad Media:** La velocidad media ( $V_3$ ) será obtenida a partir de la densidad en el plano de desplazamiento ( $\rho_3$ ) y la correspondiente presión de velocidad ( $P_{V3}$ ) usando:

<sup>6</sup> laboratory method of testing fans for aerodynamic performance rating, ANSIIAMCA STANDARD 210 ANSIIASHRAE STANDARD 51

|  |  |         |            |
|--|--|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |  | Versión | 03         |
|  |  | Fecha   | 2015-01-22 |

$$V_3 = \sqrt{\frac{2 P_{v3}}{\rho_3}} \quad V_3 = 1097 \sqrt{\frac{P_{v3}}{\rho_3}} \quad \text{Unidades en m/s}^2$$

- Presión Total del Ventilador:** La presión total del ventilador se calculará a partir de mediciones de presiones en conductos o cámaras corregidas para pérdidas de presión en conductos de medición que se producen entre el ventilador y las estaciones de medición. Cuando se utiliza un Pitot para la presión Media: la presión de velocidad media ( $P_{v3}$ ) será la determinada anteriormente, La velocidad media ( $V_3$ ) y la presión estática media ( $P_{s3}$ ) se calculará a partir de

$$P_{s3} = \frac{\sum P_{s3r}}{n}$$

- Presión Total de Entrada:** La presión total en la entrada del ventilador ( $P_{t1}$ ) se calculará de la siguiente manera:
  - A la entrada:** Cuando el ventilador tira directamente de la atmósfera,  $P_{t1}$  se considerará igual a la presión atmosférica, o sea que la presión manométrica será:
 
$$P_{t1} = 0$$
- Presión total de salida:** La presión total en la salida del ventilador ( $P_{t2}$ ) se calculará de la siguiente manera:
  - Abrir el enchufe:** Cuando el ventilador descarga directamente a la atmósfera, la presión estática en la salida ( $P_{s2}$ ) se considerará igual a la presión atmosférica, o sea que la presión manométrica será cero, de modo que:
 
$$P_{t2} = P_{v2} = P_v$$
- Presión estática:** Es el valor de la fuerza que ejerce el aire sobre las paredes de las tuberías, en sentido perpendicular a ellas, la presión estática del ventilador ( $P_s$ ) en condiciones de prueba se calculará a partir de:
 
$$P_s = P_t - P_v$$

Tomamos la presión estática en el manómetro diferencial ubicado en el montaje experimental.

#### Datos para hallar la densidad.

- Presión atmosférica:** Es la fuerza por unidad de área que ejerce el aire sobre la superficie terrestre.

Presión atmosférica en Medellín 640mmHg.

R: Constante de los gases correspondiente al aire.

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

$$R = \frac{287J}{KgK}$$

- **Temperatura atmosférica:** La medimos por medio de un termómetro. Es la cantidad de calor específico del aire en el lugar donde se instala el equipo.

**Densidad:** Es la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen.

- **Densidad:** Se calcula a partir de la ecuación de gases perfectos, midiéndose previamente la temperatura y la presión atmosférica, mediante un termómetro.

$$\rho = \frac{Pat}{RTat} \quad \text{Ecuación 1.}$$

#### Datos para hallar la presión dinámica.

Hallamos la **velocidad media del conducto** por medio de la formula y se obtiene a partir del caudal de la sección.

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad \text{Ecuación 2.}$$

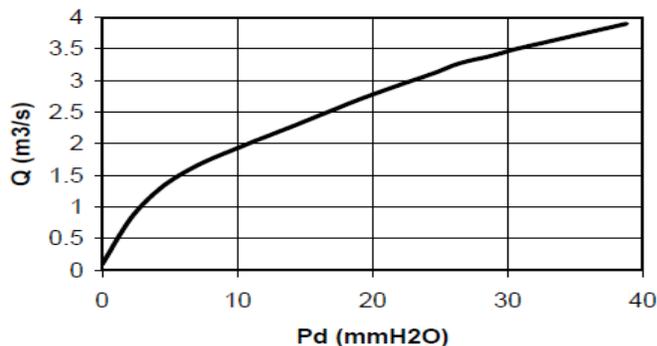
Caudal Q tomado en el tubo Pitot en m<sup>3</sup>/S.

D: Diámetro de la tubería 254mm.

**Presión dinámica:** Es la fuerza por unidad de superficie provocada por el movimiento de aire y se manifiesta en el mismo sentido de la dirección de este, esta presión es positiva.

$$Pd = \frac{\rho V^2}{2} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Graficamos la relación entre la presión dinámica en el eje del conducto y el caudal.



|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

Tomar la presión Total generada por el ventilador; se calcula como la diferencia entre la suma de la presión estática y la presión dinámica a la salida del ventilador.

$$\text{Presión total} = \text{Presión estática} + \text{Presión dinámica} \quad \text{Ecuación 4.}$$

**Datos para hallar las pérdidas de carga.**

Hallamos la **velocidad media del conducto**, ya anteriormente hallada.

Diámetro de la tubería: 254mm.

VC: Viscosidad cinemática del aire se estima en  $1.5 \times 10^{-5} m^2/S$

Remplazamos estos datos en la ecuación para hallar el número de Reynolds.

- El **número de Reynolds** puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad \text{Ecuación 5.}$$

**El número de Reynolds:** Es un parámetro adimensional cuyo valor indica si el flujo sigue el modo laminar o turbulento.

Remplazamos el número de Reynolds en la siguiente ecuación para hallar el coeficiente de pérdidas de carga.

$\xi$ : Coeficiente adimensional de pérdidas de carga, que es función del número de Reynolds, equivalente a:

$$\xi = 0.015 + 1.26 Re^{-0.3} + 0.95 Re^{-0.12} \quad \text{Ecuación 6.}$$

Para hallar las **pérdidas de carga**, hallamos los siguientes valores.

- **Densidad:** Se calcula a partir de la ecuación de gases perfectos, midiéndose previamente la temperatura y la presión atmosférica, mediante un termómetro. Ya hallada anteriormente.
- Hallamos la **velocidad media del conducto**, ya anteriormente hallada.

Remplazamos estos datos en la siguiente ecuación, para hallar las pérdidas de carga.

- Para realizar el cálculo de las pérdidas de carga entre la salida del ventilador y la posición medida de la presión, usamos la fórmula siguiente.

$$\Delta P_c = \xi \frac{\rho V^2}{2} \quad \text{Ecuación 7}$$

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

**Perdida de carga:** Es la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas de fluido entre si y contra las paredes de la tubería que las conduce.

Ya con todos estos valores remplazamos en la siguiente fórmula para hallar la presión total.

$$PT = PS + (1 + \xi) \frac{\rho V^2}{2} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

**Ps:** Es la presión estática.

$\xi$ : Coeficiente a dimensional de pérdidas de carga, que es función del número de Reynolds, equivalente a  $\xi = 0.015 + 1.26 Re^{-0.3} + 0.95 Re^{-0.12}$

$\rho$ : Densidad. Hallada anteriormente.

V: Velocidad media del conducto. Hallada anteriormente.

Para hallar la **potencia eléctrica Potv consumida por el ventilador**, hallamos la potencia eléctrica por medio de la siguiente formula o por medio de un vatímetro.

$$PE = \sqrt{3} V I \cos \phi$$

Datos obtenidos de la placa de características del motor.

V: Voltaje.

I: Corriente

$\cos \phi$ : Factor de potencia.

$$\text{Potv} = \text{PotE} \eta_M \quad \text{Ecuación 9.}$$

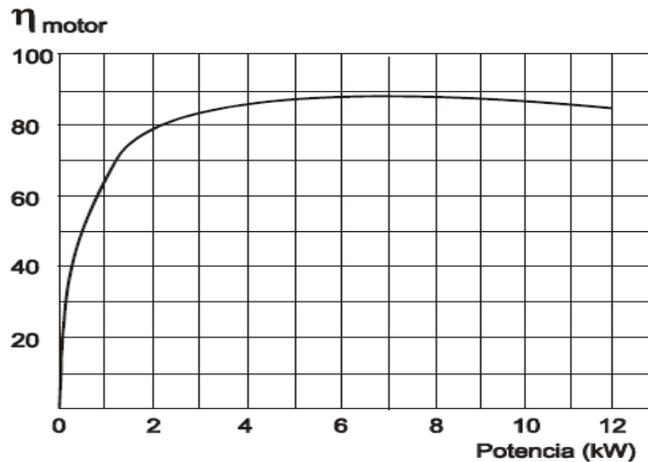
El cálculo del rendimiento  $\eta_V$  del ventilador, se realiza a partir de la siguiente formula y remplazamos en la formula anterior.

$$\eta_V = \frac{PT Q}{\text{PotV}} \quad \text{Ecuación 10.}$$

PT: Presión Total.

Q: Caudal.

Potv: Potencia eléctrica consumida por el ventilador.



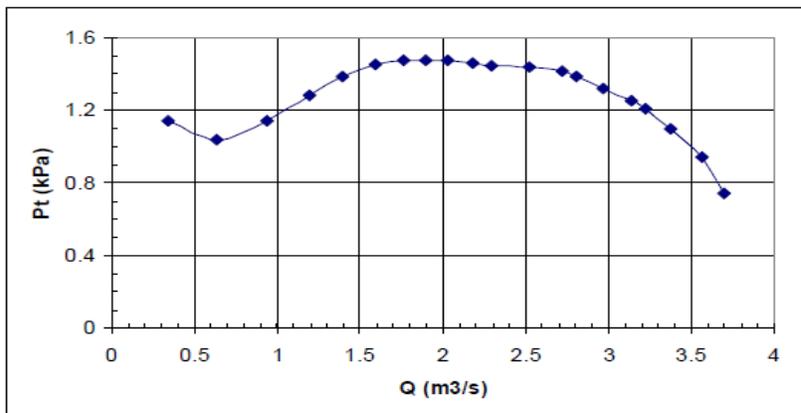
#### Rendimiento del motor eléctrico.

- Graficamos las curvas características de los parámetros, como Presión total, Potencia del ventilador, Rendimiento del ventilador Vs caudal como se muestra en las siguientes gráficas. Las gráficas que se muestran a continuación se deben realizar para cada valor de caudal que se quiera variar, para trazar las curvas características.
- **Motor calibrado:** Se puede calcular la potencia de entrada del ventilador (H) desde la entrada de potencia al motor (W) y la eficiencia del motor ( $\eta$ ) utilizando

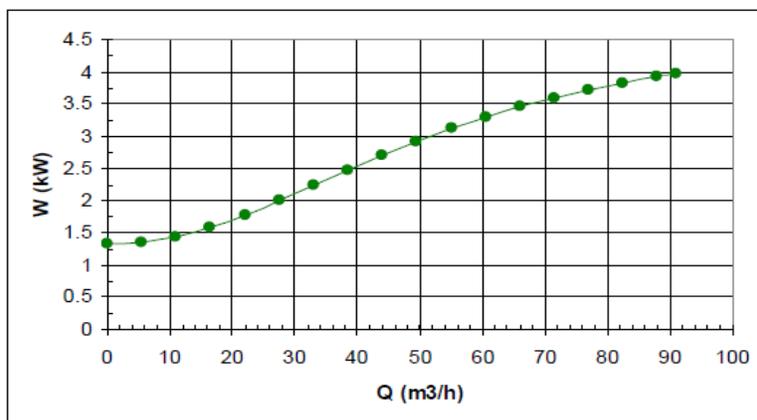
$$H = W \eta$$

$$H = \frac{W \eta}{745.7}$$

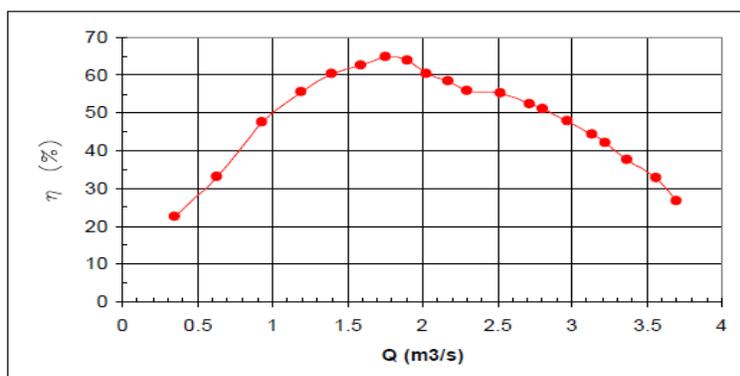
- En esta guía la realización de las curvas características de un ventilador requiere realizarlo con una medida de caudal constante e ir variando los valores de presión que se toman con el tubo Pitot en diferentes puntos siguiendo la línea de movimiento, esto debido a que los valores de presión varían según la distancia que se tenga con la pared del tubo. Para cada punto a evaluar se tomarán las medidas de presión diferencial, presión estática, potencia, entre otras las cuales serán consignadas en un cuadro (Figura 2 y 3) para su posterior análisis, cálculos y para realizar las diferentes gráficas. Cada dato evaluado será un punto en la gráfica correspondiente de presión, eficiencia y potencia. Los datos obtenidos serán expresados en las correspondientes unidades de medida



Grafica de la curva característica presión total vs caudal.



Grafica de la curva característica de la potencia del ventilador vs caudal.



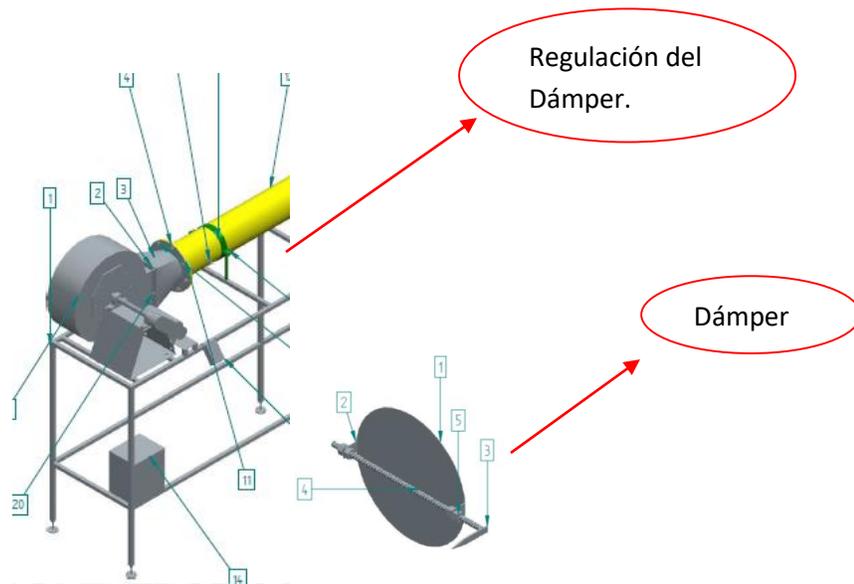
Grafica de la curva característica del rendimiento del ventilador vs caudal.

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

La representación gráfica de las curvas de presión total, potencia y rendimiento en función del caudal del ventilador; las gráficas se deben hacer manualmente sobre un papel milimetrado o por medio de una hoja de cálculo, utilizando para ello las escalas adecuadas que permitan una correcta interpretación de los resultados.

**Nota:**

Los cálculos anteriores se deben hacer con un caudal Q constante que se realice con el dámper, pero los datos de presión se deben tomar en diferentes puntos.



$$P_e = P_t + P_d$$

Donde,

Pe: Presión estática

Pt: Presión total

Pd: Presión dinámica

$$P_d = \frac{\rho V^2}{2g} \quad \text{ó}$$

$$V = \sqrt{\frac{2g \cdot P_d}{\rho}}$$

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

Donde:

Pd: Presión dinámica (mmca)

p: Densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)

V: Velocidad del aire (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

| Datos Iniciales      | Valor | Unidad |
|----------------------|-------|--------|
| Presión Atmosférica  |       |        |
| Temperatura Ambiente |       |        |
| Constante del Aire   |       |        |
| Velocidad de Giro    |       |        |
| Densidad del Aire    |       |        |

Figura 1

| Punto | Variable<br>Unidad | Variable<br>Unidad | Variable<br>Unidad |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1     |                    |                    |                    |
| 2     |                    |                    |                    |
| 3     |                    |                    |                    |
| 4     |                    |                    |                    |
| 5     |                    |                    |                    |
| 6     |                    |                    |                    |
| 7     |                    |                    |                    |

Figura 2

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

### 9.18 PREINFORME

Anterior a la práctica se debe tener en cuenta aspectos básicos asociados a la práctica a realizar, teniendo en cuenta la correcta elaboración de los cálculos para la determinación de las diferentes presiones, caudal y demás datos necesarios para la correcta caracterización de un ventilador centrífugo.

### 9.19 RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

- 9.19.1** Si tiene dudas sobre la operación o el procedimiento de medición, no dude consultarle al docente o al técnico de laboratorio.
- 9.19.2** Consultar el manual de operación y manejo del equipo.
- 9.19.3** No energizar el mismo hasta que el docente o laboratorista se lo indique.

## 10. PARÁMETROS PARA ELABORACIÓN DEL INFORME

En la próxima sesión de clase se deberá entregar el informe de la práctica realizada con los cálculos, gráficas, fotos y datos necesarios en el formato disponible.

Informe. El informe de una prueba de ventilador de laboratorio deberá incluir el objeto, los resultados, los datos de prueba y las descripciones del ventilador de prueba, incluidos los accesorios, tipo de instalación, instrumentos de ensayo y personal.

El informe de la prueba también deberá indicar los límites de entrada, salida y potencia del ventilador y qué accesorios se incluyeron con ellos. El laboratorio se identificará por su nombre y ubicación.

Curvas de rendimiento. Los resultados de una prueba de ventilador se presentarán como curvas de rendimiento. Ventilador típico Las curvas de rendimiento se muestran en la **Figura 4**.

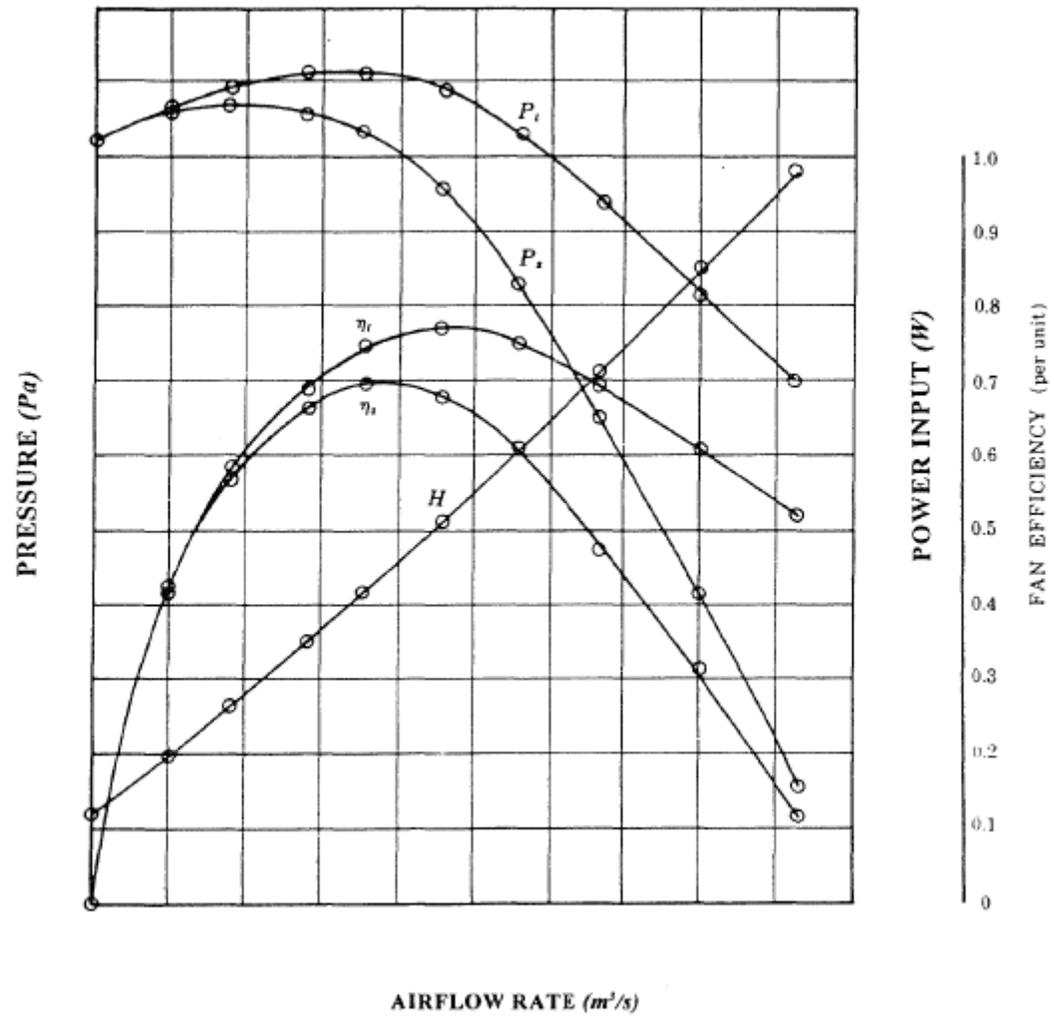


Figura 4 Curva típica de rendimiento del ventilador

|  |                                      |         |            |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | INFORME FINAL DE<br>TRABAJO DE GRADO | Código  | FDE 089    |
|  |                                      | Versión | 03         |
|  |                                      | Fecha   | 2015-01-22 |

## 6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

### 7.1. CONCLUSIONES

- El diseño del Túnel de Viento didáctico permite al Instituto Tecnológico Metropolitano la implementación de un equipo donde se pueden realizar curvas características a ventiladores; y donde los estudiantes van a tener la posibilidad de combinar conceptos teórico práctico para realizar varios experimentos que le permitan analizar comportamientos físicos que se pueden dar en su interior. En un futuro también se pueda lograr ofrecer a la industria el servicio de caracterización de ventiladores.
- En la caracterización de las variables es indispensable definir los parámetros que intervienen en el proceso, como pueden verse perturbados y como afectan en los resultados.
- En el estudio del estado del arte se hace una investigación de desarrollos que se han fabricado a nivel nacional, en especial en la ciudad de Medellín, estos nos dieron ideas claras de cómo emprender nuestro diseño del Túnel de Viento. También se investigaron desarrollos que se han hecho a nivel internacional por medio de la base de datos con que actualmente cuenta el Instituto Tecnológico Metropolitano Science Direct
- Para la modelación de las piezas tridimensionales 3D, construcción de planos, ensamble del Túnel de Viento se utiliza el software Solid Edge; programa que tiene mucha versatilidad y herramientas para hacer la construcción de piezas que permite realizar el desarrollo de cada una de una de las piezas, con el fin de obtener el ensamble final del Túnel de viento. También se obtienen los planos mecánicos que permitirán la elaboración de las piezas y posteriormente su ensamble en el taller mecánico.
- En las cotizaciones de cada uno de los elementos y materiales que se necesitan para la fabricación del Túnel de Viento Didáctico; se hicieron pensando en seleccionar los precios más favorables, pero que los materiales sean de buena calidad para que nos ofrezcan una excelente confiabilidad, en el momento de ponerlo en funcionamiento.
- Se definen las pautas para la realización de los mantenimientos preventivos y correctivos, de cada una de las partes que lo conforman, con el fin de garantizar el

|  |  |         |            |
|--|--|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |  | Versión | 03         |
|  |  | Fecha   | 2015-01-22 |

normal funcionamiento del Túnel de Viento Didáctico en el momento de realizar las prácticas por parte de los estudiantes.

## **7.2.RECOMENDACIONES**

- El laboratorio de mecánica de fluidos donde va hacer instalado el Túnel de Viento debe de contar con buena ventilación para evitar sobrecalentamientos del equipo que puedan afectar el normal funcionamiento del mismo.
- El panel de control se puede tener en cuenta la instalación de un extractor que permita mantener a una buena temperatura los componentes eléctricos, para evitar posibles anomalías.

## **7.3.TRABAJO FUTURO**

- En el diseño del prototipo actual del Túnel de Viento se cuenta con un sistema de control eléctrico básico; en un futuro se puede realizar la automatización completa del Túnel de Viento, por medio de un PLC, que permitirá mejorar su rendimiento y su manejo.
- Se le puede implementar un variador de frecuencia para regular la velocidad al motor del ventilador con el fin de controlar el flujo de aire, de una manera mucho más automática que con el sistema que se le implemento, que es por medio de un Dámper.
- Instalar un enlace que permita procesar los datos medidos en el Túnel de viento, para llevarlos a un computador con el fin visualizar los datos necesarios para realizar las guías de trabajo; y graficar las curvas características.
- Se puede realizar la implementación de una pantalla táctil HMI para facilitar su operación por intermedio de ella.
- A futuro se puede instalar un panel de abejas a la entrada del túnel, el cual busca reducir las turbulencias que puedan afectar el normal funcionamiento del Túnel de Viento.

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

## REFERENCIAS

---

BARLOW. (1999).

BARLOW, J. B. (1999). *Low-speed wind tunnel testing*. (Tercera edición ed.). New York. USA.: John Wiley & sons, Inc.

Cordoba., R. (Enero de 2012). *Diseño y Construcción Tunel Viento*. Obtenido de [http://cef.uca.edu.sv/descargables/tesis\\_descargables/tunel.pdf](http://cef.uca.edu.sv/descargables/tesis_descargables/tunel.pdf)

FUENTE PROPIA. Rodriguez, E. R. (2015). Medellín.

Gonzales, s. C. (2012). *Calculo diseño y construcción de un tunel de viento para estudios experimentales de aerogeneradores y sus componentes*. Lima: Perú.

Martinez, R. (13 de Octubre de 2011). *agenciadenoticias.unal.edu.co*. Recuperado el Abril, de <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/desarrollan-primer-tunel-del-viento-en-colombia.html>

Palau, S. (s.f.). *Manual práctico de ventilación*. Obtenido de [http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp\\_ventilacion\\_c4.pdf](http://www.soler-palau.mx/pdf/ventilacion/sp_ventilacion_c4.pdf)

Santos, A. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Historia\\_de\\_la\\_aviaci%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_aviaci%C3%B3n)

Sole, A. C. (2010). Tubo Pitot. En A. C. Sole, *Instrumentación Industrial* (pág. 792). Mexico D.F.: Alfaomega.

*Tunel de viento*. (s.f.). Obtenido de [https://www.google.com.co/search?q=foto+primer+tunel+de+viento&espv=2&biw=1024&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewjD7ZLqtq\\_NAhXD9h4KHUMACIOQ\\_AUIBigB](https://www.google.com.co/search?q=foto+primer+tunel+de+viento&espv=2&biw=1024&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewjD7ZLqtq_NAhXD9h4KHUMACIOQ_AUIBigB)

Número de Reynolds. [http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero\\_de\\_Reynolds](http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_de_Reynolds). Ultimo acceso 1/7/2012.

BARLOW, Jewel B. Rae, William H. Pope, Alan. *Low-speed wind tunnel testing*. Tercera edición. John Wiley & sons, Inc. New York. USA 1999. Páginas 713. ISBN 0-471-55774-9

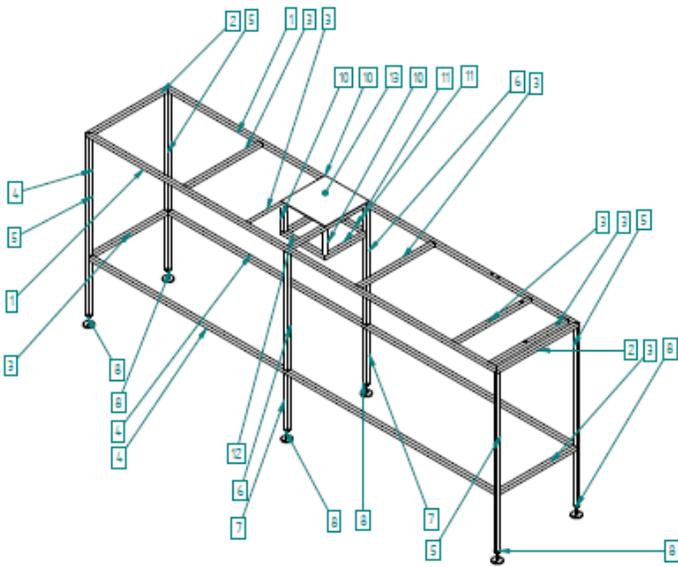
|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

Túnel de viento, obtenido de

[http://evirtual.uaslp.mx/Habitat/innobitat01/CAHS/SS%20Arq%20Arista/Proyectos%20de%20Investigaci%C3%B3n/Conjuntos/Simulador%20aerodin%C3%A1mico%20\(T%C3%BAnel%20de%20viento\).%20AGGJ%20MGJF.pdf](http://evirtual.uaslp.mx/Habitat/innobitat01/CAHS/SS%20Arq%20Arista/Proyectos%20de%20Investigaci%C3%B3n/Conjuntos/Simulador%20aerodin%C3%A1mico%20(T%C3%BAnel%20de%20viento).%20AGGJ%20MGJF.pdf)

# ANEXOS

## ANEXO 1

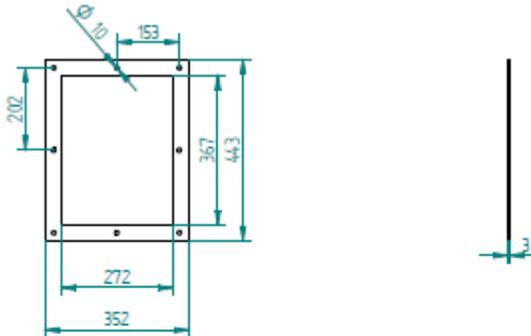
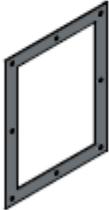


**Lista de materiales**

| Item | Material                                  | Descripcion   | Cont |
|------|---|---------------|------|
| 1    | Tubo cuadrado de 30x30 de 4000mm          | Acero carbono | 2    |
| 2    | Tubo cuadrado de 30x30 de 800mm           | Acero carbono | 2    |
| 3    | Tubo cuadrado de 30x30 de 740mm           | Acero carbono | 8    |
| 4    | Tubo cuadrado de 30x30 de 3940mm          | Acero carbono | 2    |
| 5    | Tubo cuadrado de 30x30 de 1500mm          | Acero carbono | 4    |
| 6    | Tubo cuadrado de 30x30 de 1000mm          | Acero carbono | 2    |
| 7    | Tubo cuadrado de 30x30 de 470mm           | Acero carbono | 2    |
| 8    | Platina cuadrada de 30mmx30mm espesor 5mm | Acero carbono | 6    |
| 9    | Tubo cuadrado de 30mm x 30mm de 400mm     | Acero carbono | 2    |
| 10   | Tubo cuadrado de 30mm x 30mm de 219mm     | Acero carbono | 4    |
| 11   | Tubo cuadrado de 30mm x 30mm de 430mm     | Acero carbono | 2    |
| 12   | Tubo cuadrado de 30mm x 30mm de 400mm     | Acero carbono | 1    |
| 13   | Platina cuadrada de 430mm x 430mm esp 3mm | Acero carbono | 1    |

|  |            |       |  |                                     |
|--|------------|-------|--|-------------------------------------|
| Nombre   | Edison R   | Fecha |  | Instituto Tecnológico Metropolitano |
| Dibujado   | Edison R   |       |  |                                     |
| Dibujado   | Cristian N |       |  | Proyecto Tunnel De Viento Didactico |
| Aprobado   | Juan A     |       |  |                                     |
|  |            |       |  | AS Plano Mesa soporte               |
|  |            |       |  | Plano 1                             |
|  |            |       |  | Escuela                             |

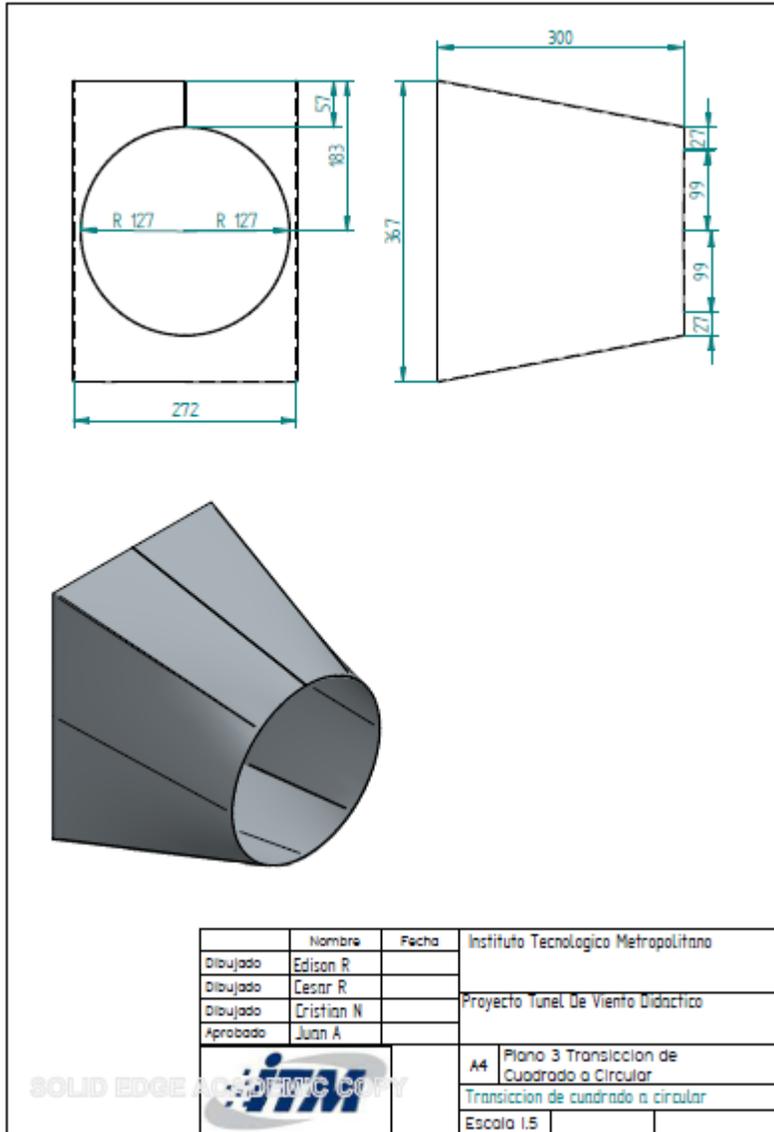
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

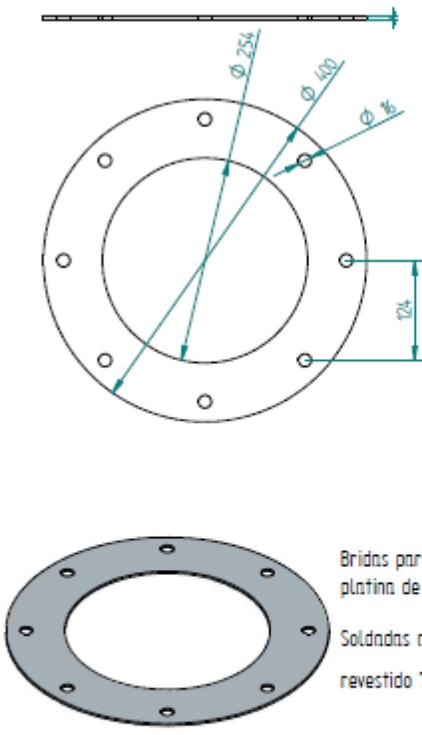



Brida para transición Fabricada en platina de 3mm.

Soldada a transición con electrodo revestido 7018 de  $\frac{1}{8}$  de pulgada.

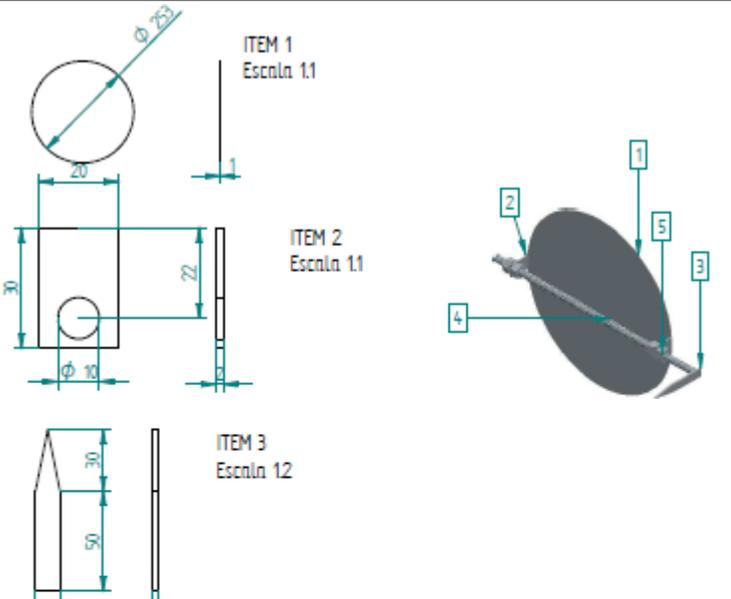
|   | Nombre     | Fecha | Instituto Tecnológico Metropolitano |                                   |
|---|------------|-------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Dibujado  | Edison R   |       | Proyecto Tunel De Viento Didactico  |                                   |
| Dibujado  | Cesar R    |       |                                     |                                   |
| Dibujado  | Cristian N |       |                                     |                                   |
| Aprobado  | Juan A     |       |                                     |                                   |
|  |            |       | A4                                  | Plano 2 Brida cuadrada transición |
|   |            |       | Archivo: Plano 2 Brida cuadrada.dft |                                   |
|   |            |       | Escala: 1:1                         |                                   |





Bridas para transición y cono difusor fabricada en platina de 3mm.  
Soldadas a transición y cono difusor con electrodo revestido 7018 de  $\frac{1}{8}$  de pulgada.  
2 unidades.

|   |            |       |                                     |
|---|------------|-------|-------------------------------------|
|   | Nombre     | Fecha | Instituto Tecnológico Metropolitano |
| Dibujado  | Edison R   |       |                                     |
| Dibujado  | Cesar R    |       |                                     |
| Dibujado  | Cristian N |       | Proyecto Tunel De Viento Didactico  |
| Aprobado  | Juan A     |       |                                     |
|  |            |       | A4 Plano 4 Bridas                   |
|   |            |       | Archivo: Plano 4.dft                |
|   |            |       | Escala 1:5                          |



ITEM 1  
Escala 1:1

ITEM 2  
Escala 1:1

ITEM 3  
Escala 1:2

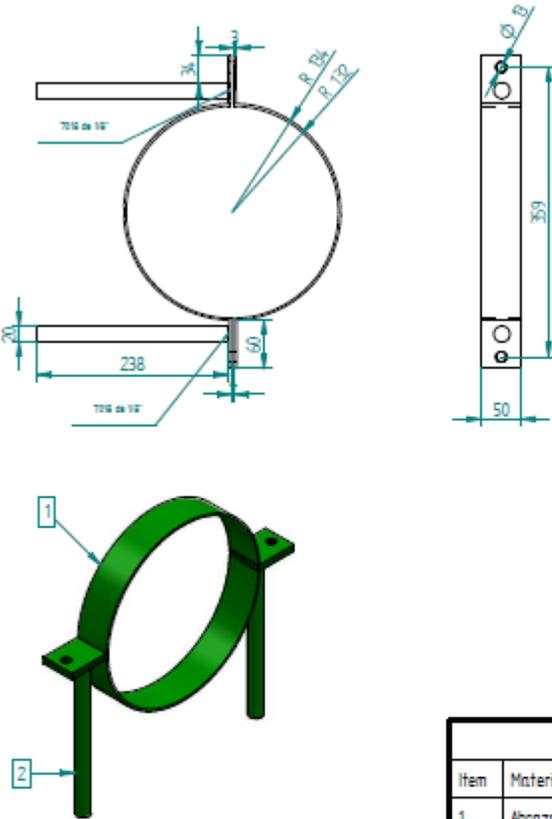
| Lista Materiales |  |      |
|------------------|--|------|
| ITEM             | Materiales   | Cant |
| 1                | Lamina Dia. 253mm Esp 1mm                            | 1    |
| 2                | Platina de 30mm x 20mm Esp 2mm                       | 2    |
| 3                | Platina de 80mm x 12mm Esp 3mm<br>Indicador posición | 1    |
| 4                | Esparrago longitud 350mm diametro 10mm               | 1    |
| 5                | Tuerca de 10mm                                       | 4    |

| Nombre              | Fecha | Instituto Tecnológico Metropolitano. |
|---------------------|-------|--------------------------------------|
| Dibujado Edison R   |       | Proyecto Tunel de Viento Didactico.  |
| Dibujado Cesar R    |       |                                      |
| Dibujado Cristian N |       |                                      |
| Aprobado Juan A     |       |                                      |

|                 |                |
|-----------------|----------------|
| A4V             | Plano 5 Danper |
| Archivo plano 5 |                |
| Escala          |                |

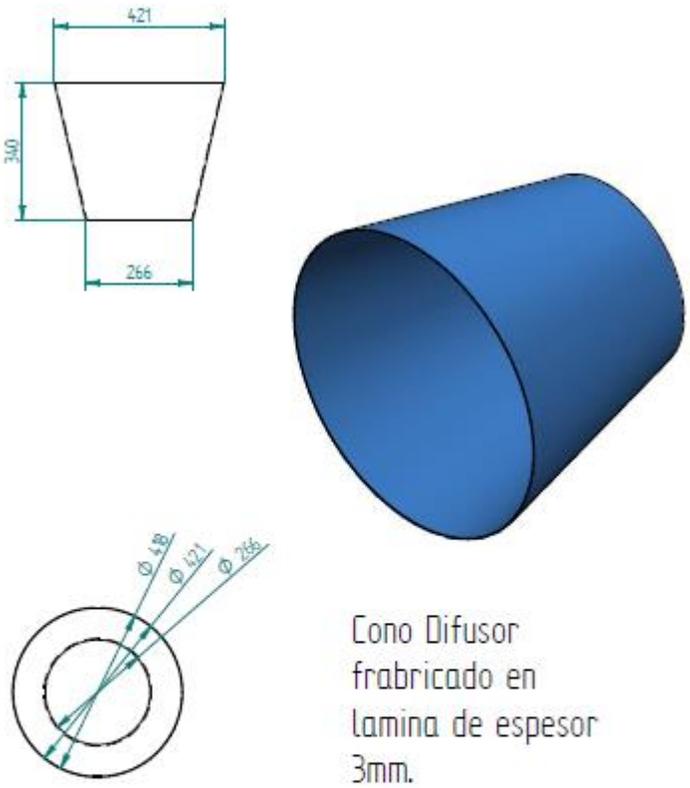
SOLID EDGE 3D CAD/CAM/CAE





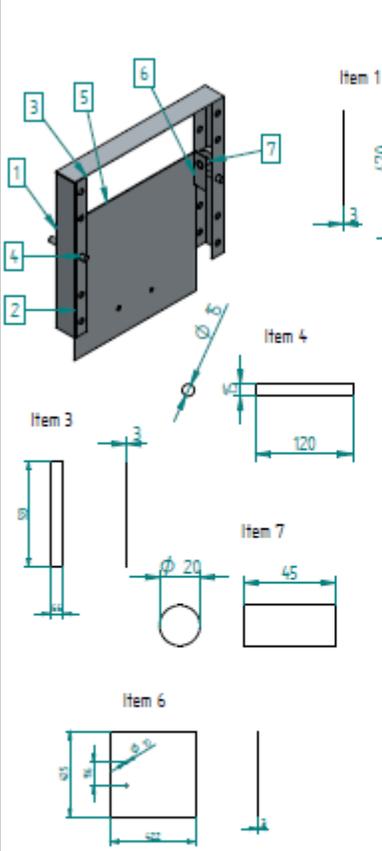
| Materiales |   |      |
|------------|---|------|
| Item       | Materiales                                      | Cant |
| 1          | Abrazadera fabricada en platina de 50mm esp 3mm | 2    |
| 2          | Varilla Ø 20mm X 238mm                          | 4    |

|                            |            |       |                                     |                     |
|----------------------------|------------|-------|-------------------------------------|---------------------|
|                            | Nombre     | Fecha | Instituto Tecnológico Metropolitano |                     |
| Dibujado                   | Edison R   |       |                                     |                     |
| Dibujado                   | Cesar R    |       |                                     |                     |
| Dibujado                   | Cristian N |       | Proyecto Tunnel De Viento Didactico |                     |
| Aprobado                   | Jun A      |       |                                     |                     |
| SOLID EDGE ACCIDENTAL COPY |            |       | A4                                  | Plano 6 Abrazaderas |
|                            |            |       | Archivo Plano 5                     |                     |
|                            |            |       | Escala                              |                     |



Cono Difusor  
fabricado en  
lamina de espesor  
3mm.

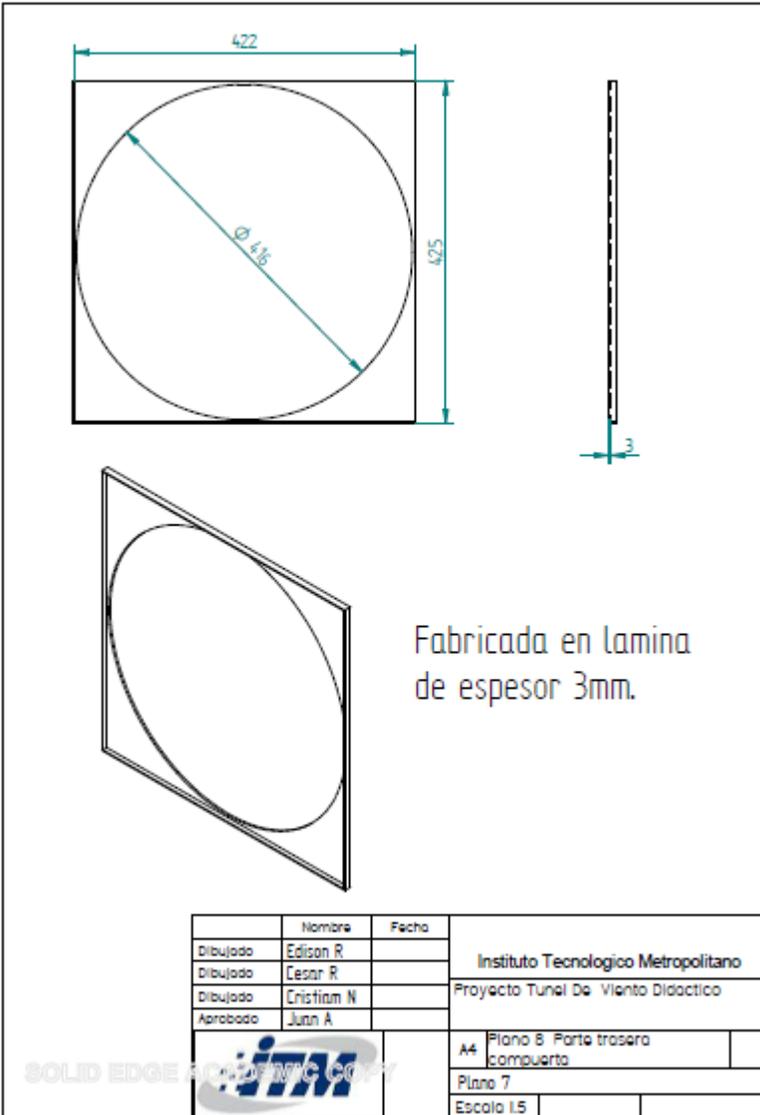
| Nombre  | Fecha | Instituto Tecnológico Metropolitano |
|---|-------|-------------------------------------|
| Dibujado Edison R   |       | Proyecto Tunel De Viento Didactico  |
| Dibujado Cesar R  |       |                                     |
| Dibujado Cristian N   |       |                                     |
| Aprobado Juan A   |       |                                     |
|  |       | A4 Plano 7 Cono Difusor             |
|   |       | Archivo: Plano 6                    |
|   |       | Escala 1:1                          |

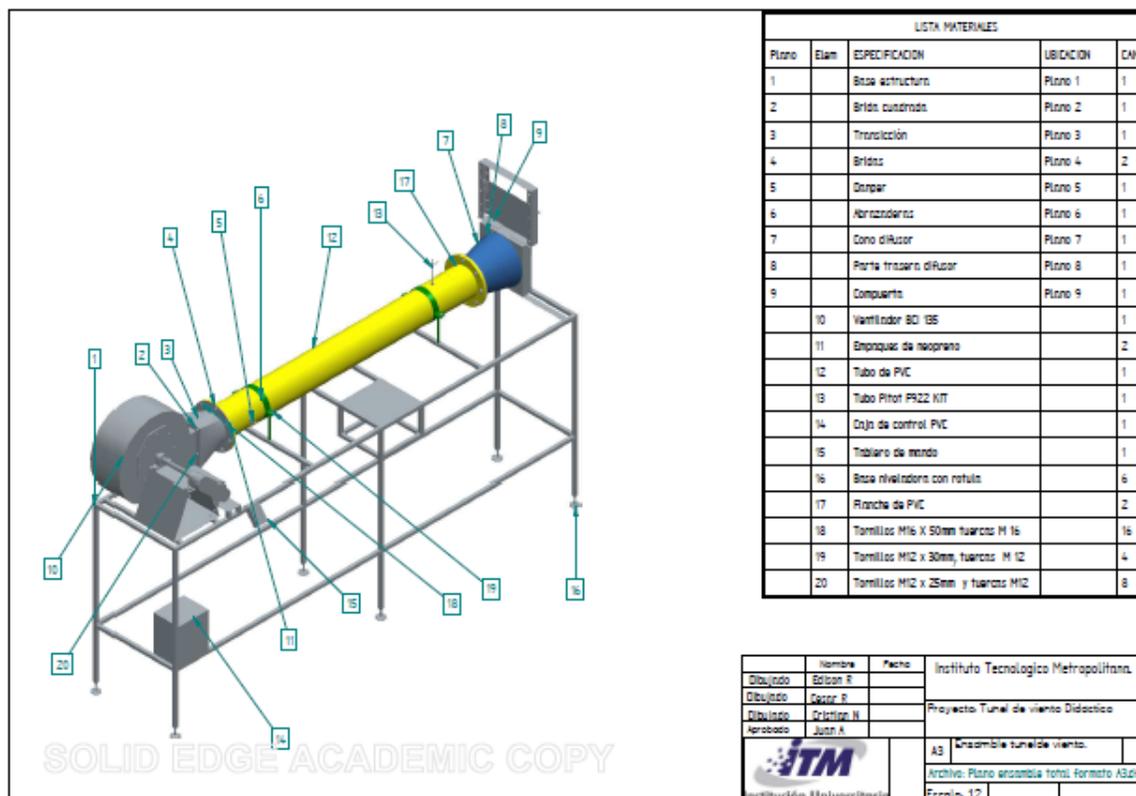
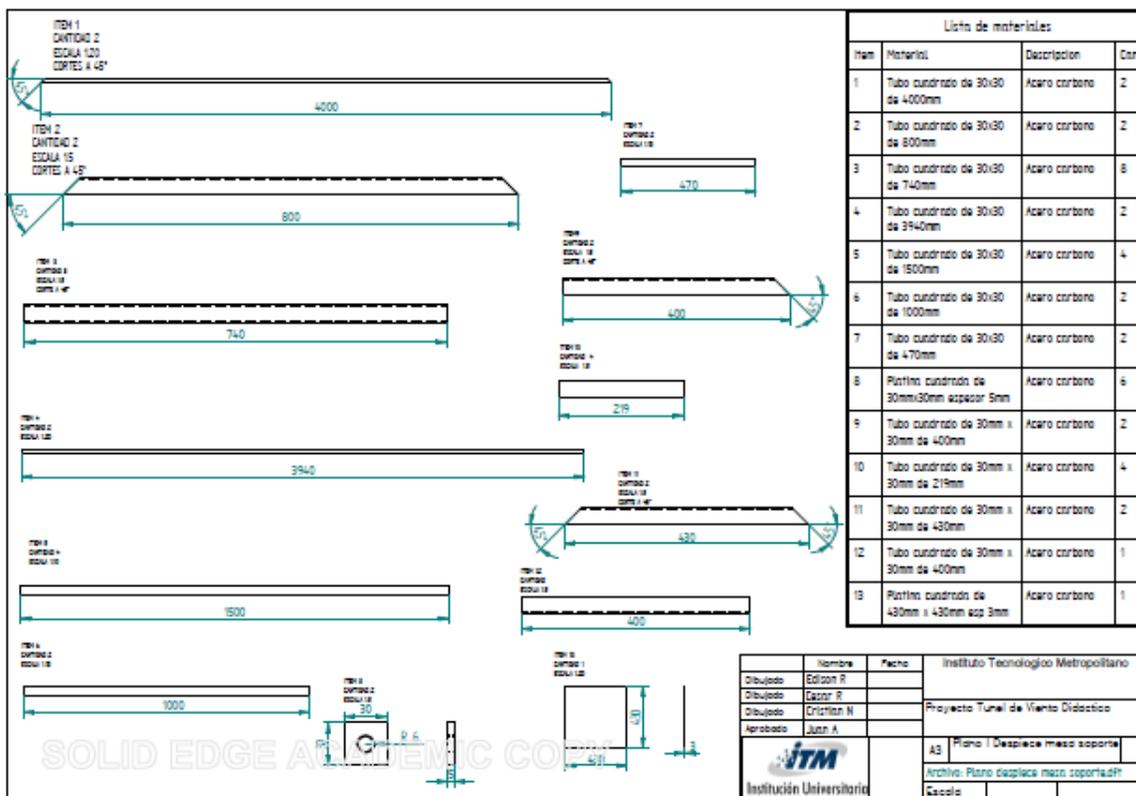


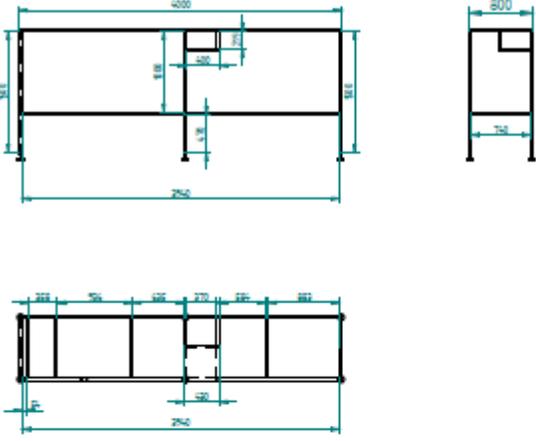
Technical drawing showing the assembly of a door for a wind tunnel. The drawing includes 7 numbered items with their respective dimensions and materials. Item 1 is a 470mm x 66mm x 3mm carbon steel plate. Item 2 is a 470mm x 40mm x 3mm carbon steel plate. Item 3 is a 523mm x 66mm x 3mm carbon steel plate. Item 4 is a 15mm x 120mm carbon steel rod. Item 5 is a 100mm x 40mm carbon steel plate. Item 6 is a 422mm x 425mm x 3mm carbon steel plate. Item 7 is a 45mm x 20mm x 3mm carbon steel rod. The drawing also shows a perspective view of the assembly and a list of materials.

| Lista Materiales |                                  |               |      |
|------------------|----------------------------------|---------------|------|
| Item             | Nombre                           | MateriAL      | Cant |
| 1                | Platina de 470mm x 66mm esp3 mm  | Acero carbono | 2    |
| 2                | Platina de 470mm x 40mm esp 3 mm | Acero carbono | 4    |
| 3                | Platina de 523mm x 66mm esp 3mm  | Acero carbono | 1    |
| 4                | Varilla de diametro 15mm x 120mm | Acero carbono | 2    |
| 5                | Platina de 100mm x 40mm          | Acero carbono | 1    |
| 6                | Platina de 422mm x 425mm esp 3mm | Acero carbono | 2    |
| 7                | Varilla de 45mm x 20mm esp 3mm   | Acero carbono | 2    |

| Nombre  | Fecha | Instituto Tecnológico Metropolitano |                   |
|---|-------|-------------------------------------|-------------------|
| Dibujado Edison R   |       | Proyecto Tunel De Viento Didactico  |                   |
| Dibujado Cesar R  |       |                                     |                   |
| Dibujado Cristian N   |       |                                     |                   |
| Aprobado Juan A   |       |                                     |                   |
|  |       | A4                                  | Plano 9 Compuerta |
|   |       |                                     | plano 9           |
|   |       |                                     | Escala            |







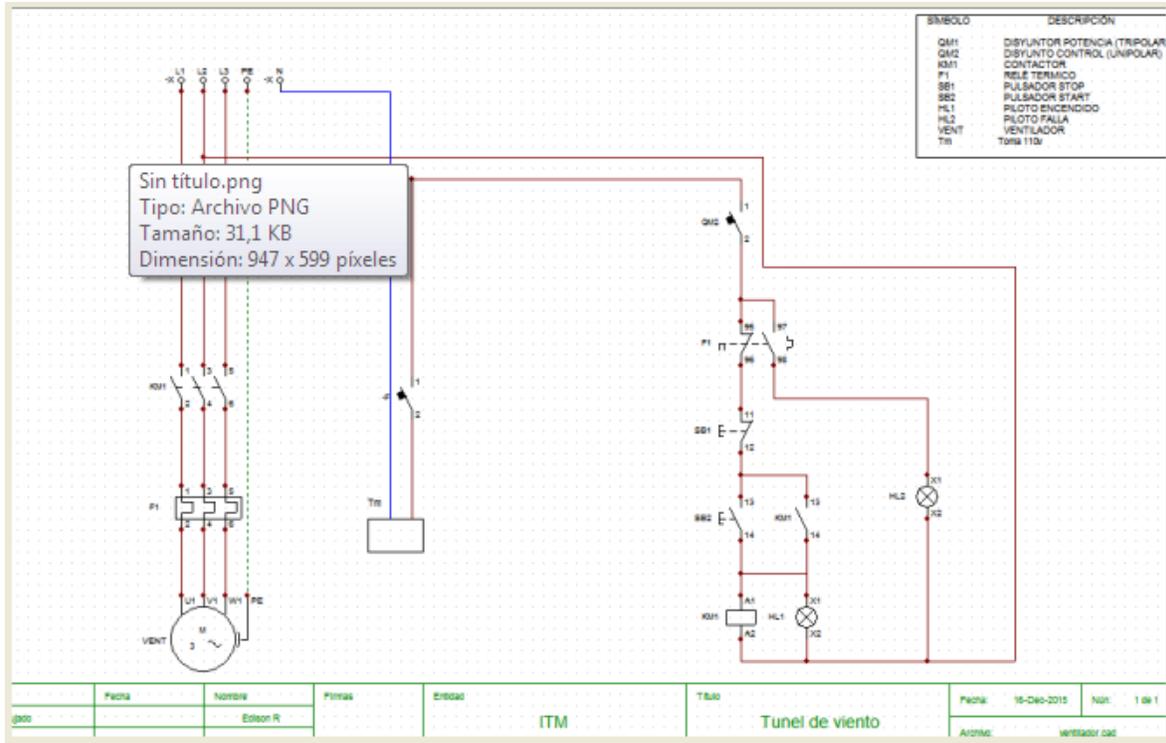
Aplicación de soldadura con electrodo revestido 7018 de  $\frac{1}{8}$  de pulgada en todas las uniones de la estructura.

7018 de 1/8"

|   |            |       |                                     |                          |
|---|------------|-------|-------------------------------------|--------------------------|
|   | Nombre     | Fecha | Instituto Tecnológico Metropolitano |                          |
| Dibujado  | Edison R   |       |                                     |                          |
| Dibujado  | Cesar R    |       |                                     |                          |
| Dibujado  | Cristian N |       | Proyecto Tunnel de Viento           |                          |
| Aprobado  | Juan A     |       |                                     |                          |
|  <p>SOLID EDGE SCALE COPY</p> <p>Institución Universitaria</p> |            |       | A4                                  | Plano Cotas Mesa soporte |
|   |            |       | Archivo: Mesa soporte               |                          |
|   |            |       | Escala                              |                          |

**ANEXO 2**

**PLANO ELECTRICO**



|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

**ANEXO 3**



**COTIZACIÓN.**

| Descripción                                 | Cantidad    | Valor unidad |
|---|-------------|--------------|
| Tubo cuadrado 30mm x 30mm espesor 2mm x 6m. | 5 unidades. | \$ 34.460    |
| Placa de hierro de 1/8" de 1.20 m x 2 m.    | 1 unidad.   | \$ 159.000   |

Sucursal: Cra. 51 N°. 40-50 Bolívar con los Huesos – Medellín

Conmutador: 232 34 11 Fax: 232 77 82

Email: [acerosmapa@une.net.co](mailto:acerosmapa@une.net.co)

  
**MAELIN LTDA.**  
 MATERIAL ELECTRICO INDUSTRIAL  
Calle 51 No. 38-10P - Poblado Berrío - Tel. 412 16 34  
 maelin@outlook.com

PEDIDO  REMISION  COTIZACION  Nº 0317

Señor(es): \_\_\_\_\_  
 NIT: \_\_\_\_\_ Tel: \_\_\_\_\_  
 Dirección: \_\_\_\_\_ Forma de Pago: \_\_\_\_\_

| FECHA           | CANT. | ARTICULOS         | VR. UNIT. | VALOR TOTAL |
|-----------------|-------|-------------------|-----------|-------------|
|                 | 1     | CONTADOR 18-10    |           | 25.000      |
|                 | 1     | GUARDADOR 4-CAMP  |           | 40.000      |
|                 | 1     | CASA 18x15 PLACUA |           | 15.000      |
|                 | 1     | PULSADOR DOBLE    |           | 9.000       |
|                 | 1     | PABO MEMORIZACION |           | 12.000      |
|                 | 4     | VEICULO 18        | 500       | 2.000       |
|                 | 7     | Toma Corriente    | 2700      | 2700        |
|                 | 7     | Breaker unipolar  |           |             |
| <b>TOTAL \$</b> |       |                   |           |             |

Recibi: \_\_\_\_\_  
 C.C. \_\_\_\_\_  
 Vendedor: \_\_\_\_\_



NIT 900.174.468-4

|   |             |            |
|---|-------------|------------|
| Tubo cuadrado 30mm x 30mm espesor 2mm x 6m. | 5 unidades. | \$ 39.970  |
| Placa de hierro de 1/8" de 1.20 m x 2 m.    |             | \$ 180.000 |

Medellín, Antioquia  
 Cra. 52 #39-59, Carabobo.

Tel 444 77 99

[www.ferrasa.com](http://www.ferrasa.com)

|  |                                      |         |            |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | INFORME FINAL DE<br>TRABAJO DE GRADO | Código  | FDE 089    |
|  |                                      | Versión | 03         |
|  |                                      | Fecha   | 2015-01-22 |

**Materiales y Racores s.a.s.**

Nit 900.437.333-9.

| Material. | Unidades. | Valor total. |
|-----------|-----------|--------------|
|-----------|-----------|--------------|

Tubería sanitaria de diámetro 10" x 6m.      1      438.000\$ IVA incluido

Carrera 50 palacè N°42-64 NUMERO UNICO 444 63 12

materialesyracores@hotmail.com



**MUNDIAL DE  
TORNILLOS**

Comunicaciones@mundialdetornillos.com

| Código | Producto            | Cantidad | Valor Unitario |
|--------|---------------------|----------|----------------|
| 181220 | Tornillo M16 x50    | 16 und   | \$1271         |
| 181500 | Tornillo M12 x 25   | 16 und   | \$ 293         |
|        | Pata Niveladora con |          |                |
|        | Rotula.             | 6 und    | \$ 4700        |
| 136456 | Esparrago M10 x     | 1 und    |                |
|        | 500mm               |          | \$ 7000        |

**Dirección**

Carrera 50 No 35-93

**PBX**

**034 262 1834**

**Fax**

**232 8119**

|  |  |         |            |
|--|--|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |  | Versión | 03         |
|  |  | Fecha   | 2015-01-22 |



Viernes 12 de Febrero de 2016

COTIZACION No 9012927

| EMPRESA  | NOMBRE DEL CONTACTO    | DIRECCION | TEL | FAX | EMAIL |
|----------|------------------------|-----------|-----|-----|-------|
|          | CRISTIAN CAMILO OSORIO |           |     |     |       |
| NIT O CC |                        |           |     |     |       |

| ITEM | CODIGO  | DESCRIPCION  | NOTAS | CANTIDAD | VALOR UNIT   | VALOR TOTAL  |
|------|---------|--|-------|----------|--------------|--------------|
| 1    | F922KIT | KIT MEDIDOR DE PRESIÓN, VELOCIDAD Y FLUJO DE AIRE<br><a href="http://201.232.58.13/pub/Internet/nuevo/F922kit.pdf">http://201.232.58.13/pub/Internet/nuevo/F922kit.pdf</a> |       | 1,00     | 3.014.000,00 | 3.014.000,00 |



Metales & laminados S.A.S.

Nos adaptamos a su necesidad.

**Producto.**

**Valor.**

Lámina galvanizada Calibre 26 de 2m x 1m.

\$ 23.200

Carrera 50 (Palacé) Nro. 42 - 113  
 Teléfono: 444 83 58  
 Móvil: 321 639 42 72

gerencia@metalesylaminados.com  
[www.metalesylaminados.com](http://www.metalesylaminados.com)

VIBRACOL  
**PROPUESTA PV 1510 759**

9.1.1

**VENTILADOR CENTRÍFUGO INDUSTRIAL**  
**SEÑORES**  
**INSTITUTO TECNOLOGICO METROPOLITANO**

|  |                                      |         |            |
|--|--------------------------------------|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | INFORME FINAL DE<br>TRABAJO DE GRADO | Código  | FDE 089    |
|  |                                      | Versión | 03         |
|  |                                      | Fecha   | 2015-01-22 |

**Itagüí, 1 de octubre de 2015**

## INTRODUCCION

Gracias por interesarse en nuestros productos y servicios. **VIBRACOL LTDA.**, tiene el gusto de presentar a consideración del **INSTITUTO TECNOLOGICO METROPOLITANO** la presente propuesta Técnico económica la cual tiene por objeto la fabricación de ventilador centrífugo.

### 1.0 ALCANCE DE LA PROPUESTA

Fabricación de ventilador centrífugo según datos suministrados por CÉSAR ROJANO

### 2.0 EQUIPOS A FABRICAR

#### 2.1 VENTILADOR

MARCA ..... VIBRACOL  
 MODELO ..... BCS 135 SW SI  
 CLASE ..... I  
 ARREGLO ..... 9  
 CAUDAL ..... 1500 m<sup>3</sup>/h  
 PRESION ESTATICA ..... 2.5" c.a.  
 VELOCIDAD ..... 2189 RPM  
 MOTOR ..... 1 HP  
 BALANCEO ..... ESTATICO Y DINAMICO  
 MATERIAL ROTOR y EJE ..... ASTM A 36  
 MATERIAL CARCAZA, ..... ASTM A 36  
 MATERIAL SOPORTE, ..... ASTM A 36  
 NIVEL DE RUIDO ..... 80DbA

**Accesorios:** Puerta inspección, transmisión por poleas y bandas, guardabandas

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

### 3.0 VALOR DE LA PROPUESTA.

| DESCRIPCIÓN   | 9.1.2<br>C<br>A<br>N<br>T | 9.1.3<br>VALOR<br>TOTAL \$ |
|---|---------------------------|----------------------------|
| Ventilador centrifugo BCS 135 SW SI clase I arr. 9 con motor de 1 hp a 1800 rpm | 1                         | 2'330.000                  |
| <b>TOTAL</b>  |                           | <b>\$ 2'330.000</b>        |

### 4.0 CONDICIONES COMERCIALES

#### 4.1 IVA

El impuesto al valor agregado IVA, no se encuentra incluido en los precios anteriores y se cobrará de acuerdo a normas vigentes y legales el día de factura.

#### 9.1.3.1.1 4.2 FORMA DE PAGO.

##### 9.1.3.1.2 50% anticipo

##### 9.1.3.1.3 50% 30 días

#### 9.1.3.1.4 4.3 TIEMPO DE ENTREGA.

Quince (15) días, contadas a partir de recibida la orden de compra y el correspondiente anticipo.

#### 9.1.3.1.5 4.4 SITIO DE ENTREGA

La turbina será entregada en el INSTITUTO TECNOLOGICO METROPOLITANO-MEDELLÍN (Antioquia)

### 4.5 VALIDEZ DE LA OFERTA

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

Veinte (20) días, contados a partir de su presentación.

#### **4.6 GARANTIA CONTRA DEFECTOS DE FABRICACION.**

Los equipos producidos por VIBRACOL son diseñados y construidos para desempeñarse como lo dice nuestros catálogos. Únicamente materiales de primera calidad y procesos de manufactura estrictamente controlados son usados en la construcción de nuestros equipos. Con un mantenimiento adecuado los equipos VIBRACOL proveerán muchas horas de operación libres de problemas, a plena operación.

VIBRACOL garantiza al comprador, que los equipos suministrados estarán conforme a las especificaciones y estarán libres de defectos, tanto en los materiales utilizados como en los procesos de manufactura aplicados, que haga que se altere su buen funcionamiento. En el caso de defectos o daños en cualquier componente de un equipo, VIBRACOL queda obligado a sustituir sin cargo los elementos defectuosos, por un período de un (1) año, a partir de su entrega.

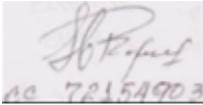
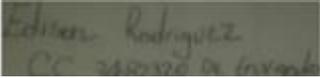
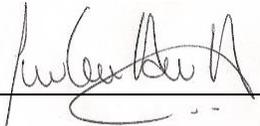
Cordialmente,

**JOHN JAVER ORTIZ**

**9.1.3.1.6 Departamento Comercial**

**Cel. 3002095713**

|   |  |         |            |
|---|--|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |  | Versión | 03         |
|   |  | Fecha   | 2015-01-22 |

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| FIRMA ESTUDIANTES                     | <br>CC 72154903<br><hr/> <u>Cristian Osorio N.</u><br><hr/> <br><hr/> |
| FIRMA ASESOR                          | <br><hr/>   |
| FECHA ENTREGA: <u>10 FEBRERO 2017</u> |   |

|   |
|---|
| FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____                |
| RECHAZADO___      ACEPTADO___      ACEPTADO CON MODIFICACIONES___ |
| ACTA NO. _____  |
| FECHA ENTREGA: _____  |

|                                 |
|---------------------------------|
| FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____ |
| ACTA NO. _____                  |
| FECHA ENTREGA: _____            |