

**DISEÑO DE UN BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE
AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA**

ULISES JAVIER FRIAS TARON

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2011

**DISEÑO DE UN BANCO EXPERIMENTAL PARA LA CARACTERIZACION DE
AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA**

ULISES JAVIER FRIAS TARON

**Trabajo de grado para optar el título de
INGENIERO MECÁNICO**

**Director
JAVIER RUGELES
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2011

DDEDICATORIA

A DIOS,

A mis padres, con todo mi amor,

A mi hermano,

A mi novia,

AGRADECIMIENTOS

A la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, por darme una formación integral como Ingeniero Mecánico.

A JAVIER RUGELES, Ingeniero mecánico, Director de proyecto, por su confianza y apoyo.

A JAIR ANGARITA, Ingeniero mecánico, Codirector de proyecto, por su esmero y dedicación.

A mi FAMILIA, por su apoyo incondicional.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	16
1. ENERGIA EOLICA	19
1.1 GENERALIDADES	19
1.1.1 Energía Eólica En El Mundo	21
1.1.2 Energía Eólica En Colombia	25
1.1.3 Aplicaciones	28
1.2 POTENCIAL EOLICO	29
1.3 TIPOS DE AEROGENERADORES	31
1.3.1 Aerogeneradores de eje horizontal	31
1.3.2 Aerogeneradores de eje vertical	32
1.4 PARTES DE UN AEROGENERADOR	34
1.5 CARACTERISTICAS DE UN AEROGENERADOR	35
1.5.1 Relación de velocidad de punta.	36
1.5.2 Perfil Aerodinámico	37
1.5.3 Curva de potencia de un Aerogenerador	40
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZAR AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA	42
2.1 TIPOS DE DISEÑO	43
2.1.1 Circuito Abierto	43
2.1.2 Circuito Cerrado	45
2.2 SECCIONES PRINCIPALES EN UN TUNEL DE VIENTO	47
2.2.1 Sección de Ensayos	48
2.2.2 Difusor de salida	49
2.2.3 Sección de acondicionamiento de flujo	49
2.2.4 Sección de Contracción	50
2.2.5 Generador de flujo	51

3. DISEÑO DE UN BANCO EXPERIMENTAL PARA LA CARACTERIZACION DE AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA	55
3.1 ESTADO DEL ARTE DE LA FACILIDAD QUE SE VA DISEÑAR	57
3.1.1 Velocidad del viento	57
3.1.2 Envergadura de los modelos	58
3.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE INSTALACION	63
3.3 DISEÑO DE SECCION DE ENSAYOS	65
3.4 DISEÑO DE LA SECCION DE CONTRACCION	67
3.5 DISEÑO DE LA SECCION DE ACONDICIONAMIENTO DE FLUJO	71
3.5.1 Mallas	71
3.5.2 Sección para desarrollo de flujo	74
3.6 DISEÑO DEL DIFUSOR DE SALIDA	76
3.7 SELECCIÓN DEL GENERADOR DE FLUJO	78
3.7.1 Caudal requerido	78
3.7.2 Pérdidas de presión	79
3.8 ESTRUCTURA DE SOPORTE	104
3.9 EVALUACION DE LA INSTALACION DISEÑADA	105
4. SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACION	111
4.1 DEFINICIÓN DE LAS MAGNITUDES DE INFLUENCIA Y TECNOLOGIAS DE MEDICIÓN	112
4.1.1 Velocidad	112
4.1.1 Presión	115
4.1.3 Temperatura	118
4.1.4 Fuerzas de sustentación y arrastre	120
4.1.5 Velocidad de Rotación del eje del aerogenerador	127
4.2 EQUIPO PARA CONTROL DE VELOCIDAD DE VIENTO	128
4.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS	131
5. COSTO DEL PROYECTO	142
6. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES	143
BIBLIOGRAFIA	145

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Aerogeneradores	20
Figura 2 Capacidad de generación de energía eólica instalada en el mundo	21
Figura 3 Países con mayor capacidad de generación de energía eólica	22
Figura 4 Capacidad de generación de energía eólica en Latino América 06-10	23
Figura 5 Capacidad de generación de energía eólica en el mundo hasta 2020	25
Figura 6 Ubicación parque eólico JEPÍRACHI	26
Figura 7 Recurso eólico en Colombia	27
Figura 8 Aerogenerador de eje horizontal	31
Figura 9 Aerogeneradores de eje vertical (izq. Savonius, der. Darrieus)	33
Figura 10 Partes de un aerogenerador de eje horizontal	34
Figura 11 Coeficientes de potencia en función del TSR	37
Figura 12 Terminología usada en perfiles aerodinámicos	39
Figura 13 Curva de potencia de un aerogenerador de 11 Kw	41
Figura 14 Túnel de viento circuito abierto, Succión	43
Figura 15 Partes de un Túnel de viento circuito abierto, Succión	44
Figura 16 Túnel de viento circuito abierto, Soplador	45
Figura 17 Túnel de viento circuito cerrado	46
Figura 18 Variación del perfil de velocidades (sin mallas y sin dirreccionador de flujo)	49
Figura 19 Variación del perfil de velocidades (con mallas y sin dirreccionador de flujo)	50
Figura 20 Ventilador Axial	52
Figura 21 Ventilador Centrifugo	52
Figura 23 Sección de ensayos	67
Figura 24 Parámetros de diseño para contracción.	69
Figura 25 Sección de contracción	70
Figura 26 Geometría y notación de las mallas	72

Figura 27 Sección de entrada (Mallas)	74
Figura 28 Sección de desarrollo de flujo	75
Figura 29 Difusor de salida	78
Figura 30 Secciones consideradas para utilización de la ecuación de Bernoulli	79
Figura 32 Selección del tipo de ventilador. Software (Easyvent)	100
Figura 33 Variables de entrada. Software (Easyvent)	101
Figura 34 Curva de Bomba GREENHECK	103
Figura 38 Estructura de Soporte	104
Figura 39 Simulación CAE del comportamiento del viento	107
Figura 40 Grafica de velocidad de trayectorias de flujo en la instalación	109
Figura 41 Grafica de presión de trayectorias de flujo en la instalación	110
Figura 42 Grafica de densidad de trayectorias de flujo en la instalación	110
Figura 43 Instalación de Tubo Pitot	113
Figura 44 Anemómetro convencional	113
Figura 45 Anemómetros de hilo caliente	114
Figura 46 Manómetros de columna líquida	116
Figura 47 Transductor de Presión	117
Figura 48 Termómetro de resistencia	118
Figura 49 Termocupla	119
Figura 50 Balanza aerodinámica tipo plataforma de tres patas	121
Figura 51 Balanza aerodinámica tipo horquilla o yugo	122
Figura 52 Balanza aerodinámica tipo piramidal	122
Figura 53 Balanza aerodinámica Interna	123
Figura 54 Diagrama de Elementos de un SAD	132
Figura 55 Esquema E/S de un sensor	132
Figura 56 Software de control LabTech	134
Figura 57 Software para túneles de viento	140

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Parámetros de Aerogeneradores de Eje Horizontal	32
Tabla 2 Ventajas y Desventajas de túneles de viento de circuito abierto y cerrado.	46
Tabla 3 Necesidades de una casa rural	60
Tabla 4 Parámetros evaluados de la necesidad del proyecto	63
Tabla 5 Tabla evaluativa para selección del tipo de instalación	64
Tabla 6 Tabla evaluativa para selección del tipo de generador de flujo	64
Tabla 7 Dimensiones de la sección de ensayos	66
Tabla 8 Dimensiones de la sección de contracción	70
Tabla 9 Evaluación de secciones de acondicionamiento de flujo.	71
Tabla 10 Tabla de rangos de coeficientes aerodinámicos.	96
Tabla 11 Características ventilador S&P TGT	101
Tabla 12 Características ventilador Greenheck	103
Tabla 13 Condiciones de Entrada de la simulación propuesta	106
Tabla 14 Características de anemómetro Hilo Caliente	115
Tabla 15 Características de Transductor de Presión	118
Tabla 16 Características de Trasmisor de Temperatura	120
Tabla 17 Características de balanza Aerodinámica	126
Tabla 18 Características de Encoder	128
Tabla 19 Características del variador de Frecuencia	131
Tabla 20 Tabla de tipos de señales a monitorear	136
Tabla 21 Propuesta # 1 Fabricante: Siemens	137
Tabla 22 Propuesta # 2 Fabricante: National Instruments	137
Tabla 23 Propuesta # 3 Fabricante: Intech	138
Tabla 24 Tabla evaluativa para las tres propuestas	139
Tabla 25 Software para túneles de viento	141
Tabla 26 Descripción del costo del proyecto	142

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. DIAGRAMA DE MOODY	148
ANEXO B. PROPUESTAS ECONOMICAS	149
ANEXO C. PROPUESTA DE FINANCIACION DIRIGIDA AL BANCO DE PROYECTOS DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	163
ANEXO D. PLANOS	196

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DE UN BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA*.

AUTORES: FRIAS TARON ULISES JAVIER **

PALABRAS CLAVES: Aerogeneradores, Túnel De Viento, Medición De Aire, Potencial Eólico, Perfil Aerodinámico, Velocidad De Aire.

DESCRIPCION

Para el presente proyecto, considerando las propiedades del viento y el mapa de potencial eólico en Colombia suministrado por la Unidad de planeación Minero Energética (UPME), se identificaron las zonas en las cuales resulta viable la utilización de aerogeneradores de baja potencia (velocidades de viento mayores a 5 m/s) como solución a poblaciones que no cuentan con servicio de electricidad. Por ello, con el propósito de contribuir a la infraestructura de la Universidad Industrial de Santander, se diseñó una herramienta tecnológica, que permita realizar estudios acerca de la influencia del viento en la generación de energía eólica y en diferentes fenómenos ingenieriles, que sean fuente de información para la creación de nuevos proyectos que conciernen al aprovechamiento de la energía del viento.

Este banco experimental, está dotado de un generador de flujo (ventilador) que proporcionara velocidades de viento de 5-15 m/s (velocidades a las que el aerogenerador podría trabajar en Colombia), de una sección de pruebas dotada de los instrumentos necesarios para medir las variables importante como velocidad del aire, temperatura, presión y en donde se localizaran los prototipos a evaluar.

También estará complementado con una sección de entrada, zona de adecuación de flujo y un sistema de adquisición de datos que será el encargado de monitorear las variables necesarias para nuestro estudio.

Este banco experimental, permitirá la caracterización de Aerogeneradores de baja potencia, logrando establecer relaciones entre la potencia y la velocidad del viento y obtener características de distintos perfiles aerodinámicos, así como también permitirá realizar estudios en otros campos de la ingeniería que impliquen la influencia del viento.

* Proyecto de Grado

** Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicomécanicas, Escuela de Ingeniera Mecánica. Director. JAVIER RUGELES. Ingeniero mecánico

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A BENCH TEST FOR CHARACTERIZING OF LOW POWER WIND TURBINE*

AUTHOR: ULISES JAVIER FRIAS TARON**

KEY WORDS: Wind Turbine, Wind Tunnel, Flow Metering, Wind Speed, Airfoil

DESCRIPTION

For this project, we made a research about the properties and potential wind farm in Colombia in order to identify areas where it is feasible to use low-power wind turbines as a solution to people who do not have electricity service. Therefore, in order to contribute to the infrastructure of the Industrial University of Santander, is a technological tool design, allowing studies on the influence of wind on wind power generation and engineering different phenomena, which are source information for the creation of new projects concerning the use of wind energy.

This test stand is equipped with a flow generator (fan) to provide us with wind speeds of 5-15 m / s (speeds at which the turbine might work in Colombia), a test section equipped with the necessary tools to measure important variables like wind speed, temperature, pressure and where were located to evaluate our prototypes will also be complemented by an input section, an area of adequacy of flow and a data acquisition system which will be responsible for monitoring the variables needed for our study.

This test stand will allow the characterization of low-power wind turbines, making relationships between power and wind speed and gain characteristics of different airfoils, as well as enable studies in other fields of engineering involving the influence of wind.

* Grade Project

** Industrial University of Santander, physical-Faculty of Engineering, School of Mechanical Engineering. Director. JAVIER Rugeles. mechanical Engineer

INTRODUCCION

Las fuentes renovables de energía, como la eólica, se constituyen hoy en día en valiosos recursos más limpios que los originados en las fuentes fósiles. Estos recursos son cada vez más competitivos, en especial si se toma en consideración que permiten augurar un desarrollo más sostenible en la Tierra.

Colombia, por su posición en la franja tropical, con gran variabilidad en la estructura física de sus cordilleras y por su localización frente al mar Caribe y al océano Pacífico, adquiere una condición privilegiada en recursos renovables de energía como la asociada con el viento.

Teniendo en cuenta lo anterior, resulta apropiado buscar herramientas que ayuden a profundizar en estudios relacionados con la energía del viento y que faciliten procesos de investigación en distintas ramas de la ingeniería, para así lograr avances en proyectos destinados a la implementación de aerogeneradores de baja potencia, como solución a aquellas regiones del país que carecen de energía eléctrica.

Es por eso que el presente proyecto, "DISEÑO DE UN BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA", resulta un paso importante para la construcción de una instalación, en la cual puedan realizarse pruebas a modelos a escala de aerogeneradores para evaluar su comportamiento y así determinar su factibilidad para uso en alguna zona del país, así como también, realizar estudios más profundos en diversas ramas de la ingeniería en donde se requiera evaluar la influencia del viento.

Durante el desarrollo de este proyecto, se mostrara la importancia que tiene ensayar con prototipos a escala de aerogeneradores antes de su construcción real

y de las ventajas que ofrece la implementación de un banco de estas características en distintos estudios de la ingeniería mecánica.

El resultado de este proyecto es el diseño un banco experimental de aerogeneradores de baja potencia, que opere en el intervalo de velocidades de viento de 5 – 15 m/s y que permita obtener unas características de flujo óptimas para realizar pruebas a prototipos de aerogeneradores, los cuales estarán ligados a instrumentos de medición que arrojen variables necesarias para caracterizarlos y obtener información sobre su funcionamiento.

Su desarrollo se presenta en varios capítulos, organizados así:

En el primero, se describirán generalidades de la energía eólica y los aerogeneradores, con el fin de conocer las variables que se necesita saber para caracterizar un aerogenerador de baja potencia.

Luego, describiremos las características de un banco experimental para caracterizar aerogeneradores de bajo potencia (tipo túnel de viento) y las necesidades que serán objeto de estudio de nuestro proyecto.

A continuación, se iniciara el proceso de diseño para la zona de pruebas, teniendo en cuenta los alcances del proyecto, y de ahí se completara el diseño del banco experimental, que tendrá como último propósito la entrega de planos dimensionales con la ayuda de programas CAD.

El cuarto capítulo, evaluara la instrumentación necesaria en la instalación con el fin de medir las variables de importancia en los ensayos a realizar, incluyendo la implementación de un sistema de adquisición de datos que permita monitorear y almacenar los datos entregados por la instrumentación.

Por último, se realizara un presupuesto detallado en el que se incluyan todos los costos que acarrea la construcción del proyecto, soportado con cotizaciones de distintos proveedores.

1. ENERGIA EOLICA

1.1 GENERALIDADES

Uno de los grandes problemas de la humanidad es su dependencia de los combustibles fósiles, ya que provocan un fuerte impacto ambiental. Con el fin de evitar el deterioro del planeta, es de vital importancia la sustitución de producción de energía por medio de combustibles por energías limpias y renovables las cuales, reducen de manera significativa el número de contaminantes que afectan la atmosfera y deterioran el planeta.¹

Las energías renovables podrían solucionar muchos de los problemas ambientales, como el cambio climático, residuos radiactivos, lluvias acidas y la contaminación atmosférica, razón por la cual, se convierten en propuestas llamativas para la conservación del medio ambiente.

En la actualidad, existen varios métodos de generación de energía limpia, entre los más importantes tenemos la energía solar térmica (usando colectores solares), energía solar fotovoltaica (se utilizan paneles con células solares), energía hidráulica (aprovechan el movimiento del agua), energía geotérmica (aprovechamiento del calor almacenado en los estratos geológicos) y energía eólica.

La energía eólica es la obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles de energía para las actividades humanas. La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto

¹ www.uco.es

invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde.²

La forma típica de aprovechar esta energía es a través de la utilización de máquinas eólicas, las cuales, son capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica de rotación utilizable, ya sea para accionar directamente las máquinas operatrices, como para la producción de energía eléctrica. En este último caso, el sistema de conversión, (que comprende un generador eléctrico con sus sistemas de control y de conexión a la red) es conocido como aerogenerador.

Figura 1 Aerogeneradores



Fuente: <http://www.ecologismo.com/tag/aerogeneradores/>

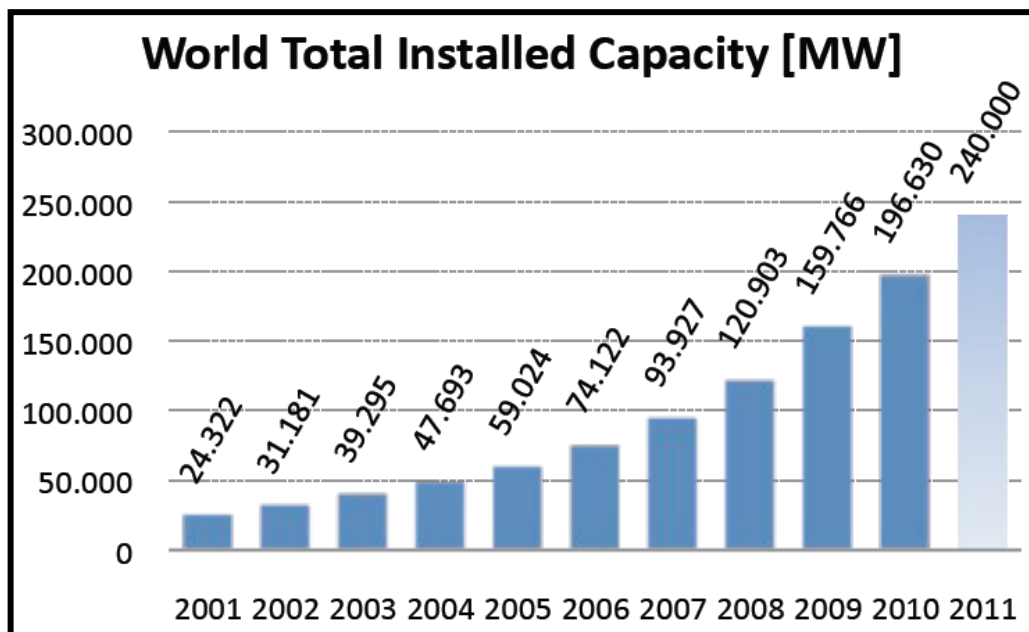
En los aerogeneradores el viento mueve una hélice y mediante un sistema mecánico se hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador, que produce energía eléctrica. La potencia de los aerogeneradores depende principalmente del diámetro del rotor, y esta varía en un rango bastante amplio, esto permite que sean utilizados para diferentes aplicaciones que van desde

² ENERGIA EOLICA, Pedro Fernández Díez, Universidad de Cantabria

producir energía para pequeñas áreas rurales (Menores a 1 Kw), hasta la producción de energía en masa, en donde reúnen cantidades de aerogeneradores de potencias elevadas (Mayores a 1 MW) y forman parques eólicos que se encargan de administrar la energía entrega por estos, para convertirla en una propuesta rentable y amigable con el medio ambiente.

1.1.1 Energía Eólica En El Mundo. El uso del viento como fuente de generación de energía eléctrica ha venido creciendo a través del años, pasando de unidades de Mw (década de los 80) a cientos de miles de Mw, hecho que confirma el interés de producir energía de manera limpia.

Figura 2 Capacidad de generación de energía eólica instalada en el mundo.

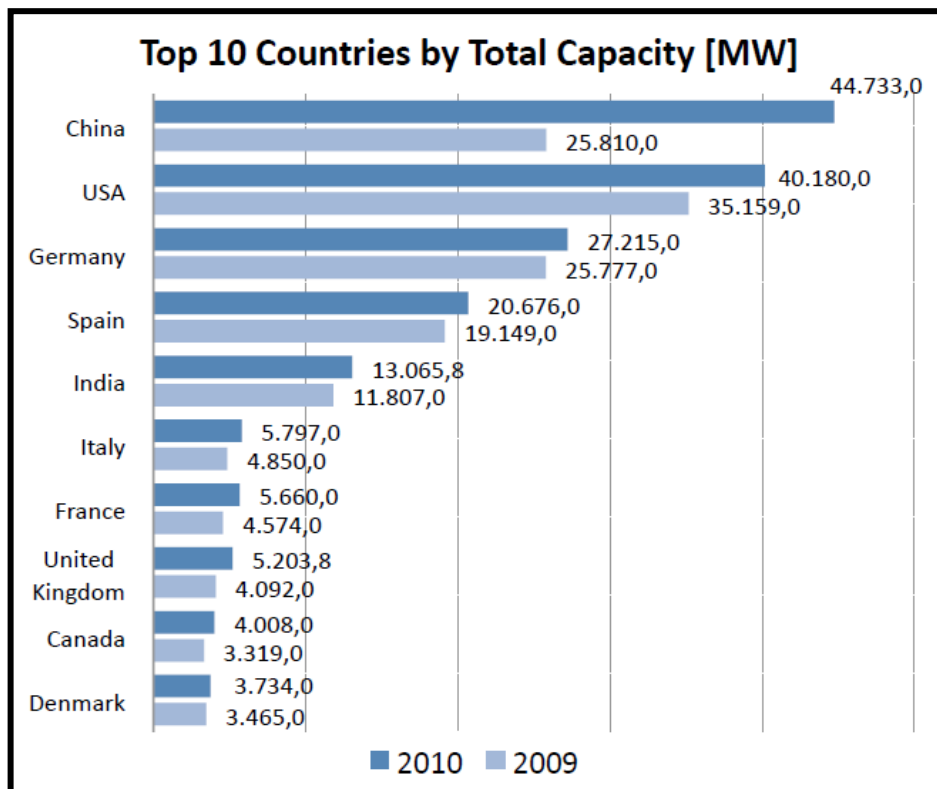


Fuente: World Wind Energy Report2010, WWEA

En la Figura 2, se observa el gran crecimiento del sector eólico en el mundo en los últimos 10 años, así como también, los pronósticos para el 2011 los que aseguran un crecimiento del 30%, con respecto al 2010.

En cuanto a los países líderes en el sector de generación de energía eólica, CHINA sigue liderando en capacidad de generación pasando de 25.810 Mw en el 2009 a 44.733 Mw en el 2010, seguida de ESTADOS UNIDOS Y ALEMANIA, tal y como se ilustra en la Figura 3, en donde se listan los diez países con mayor capacidad de generación de energía eólica.

Figura 3 Países con mayor capacidad de generación de energía eólica

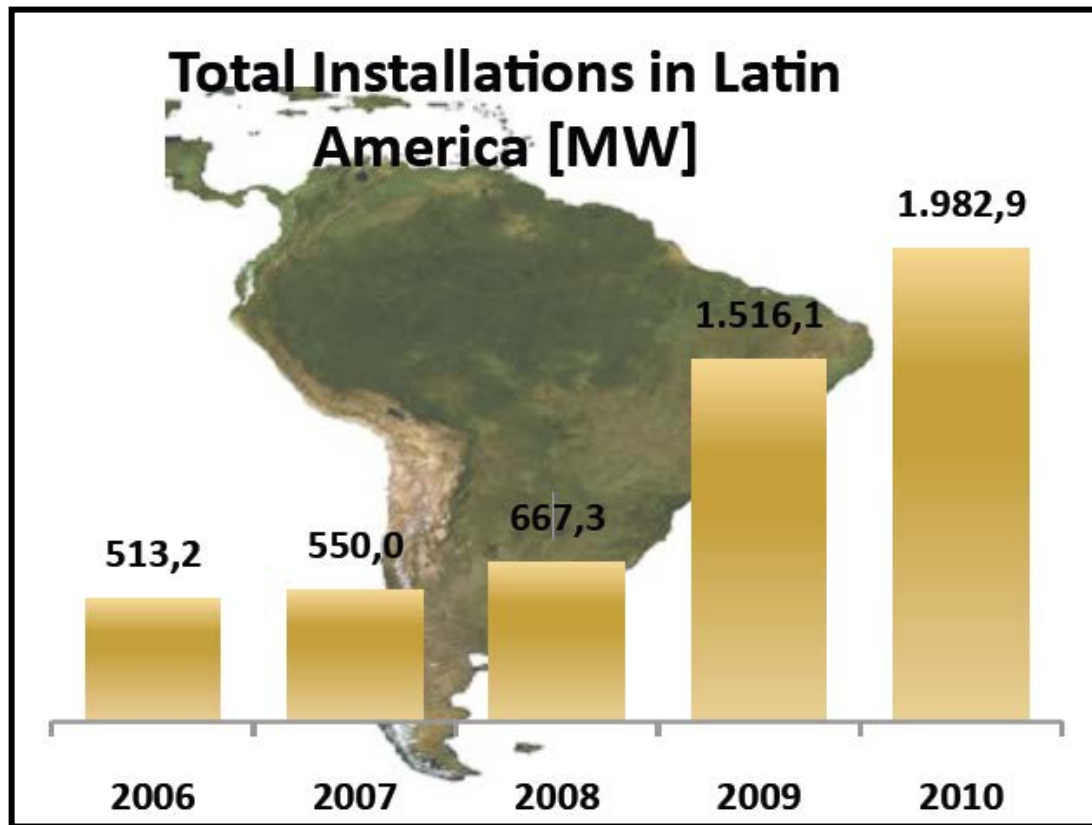


Fuente: World Wind Energy Report2010, WWEA

América Latina quedó muy por debajo del crecimiento del 2009 y sólo añadió 467 MW, alcanzando un capacidad total de 1 983 MW tal y como se muestra en la Figura 4. La tasa de crecimiento de 30,8% fue muy superior al de todo el mundo promedio, sin embargo, muy por debajo del 113% del año anterior. Sigue siendo el

continente con menos capacidad de generación, ya que solo representa sólo el 1,2% de la capacidad mundial.³

Figura 4 Capacidad de generación de energía eólica en Latino América 06-10



Fuente: World Wind Energy Report2010, WWEA

Sólo seis países de América Latina han instalado nuevos aerogeneradores en el año 2010: Brasil (320 MW), México (104,5 MW), Argentina (25,3 MW), Uruguay (10 MW), Cuba (4,5 MW) y Chile (2,6 MW). Granjas de viento grandes se espera que comiencen funcionamiento en 2011, especialmente en México (800 MW), así como en Brasil, pero también en más países como en la República Dominicana.⁴

³ World Wind Energy Report2010, WWEA

⁴ Ibid.

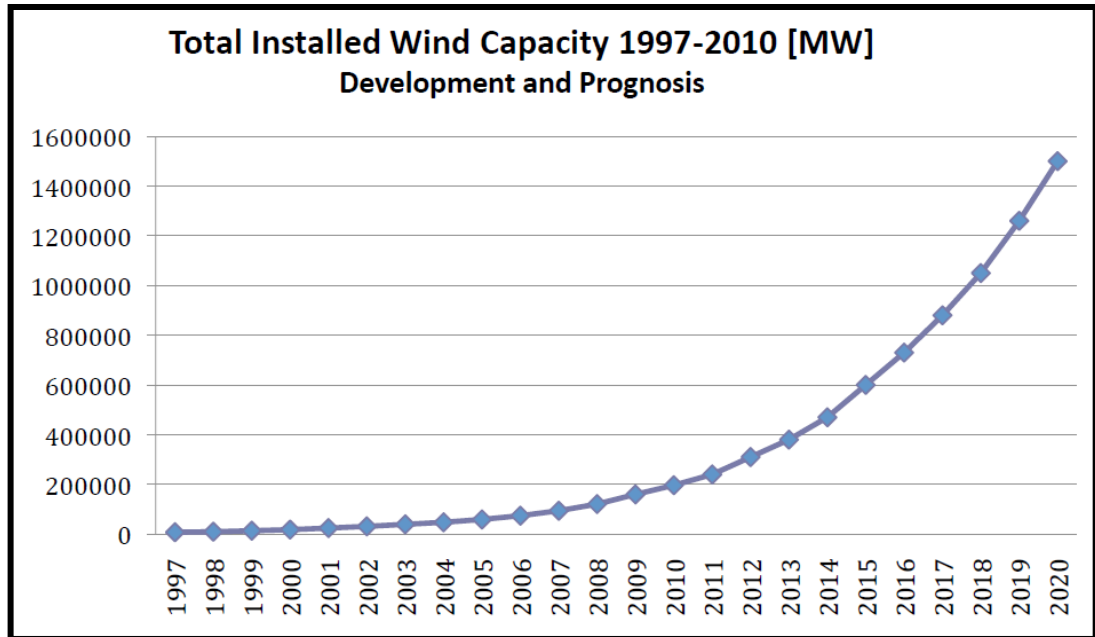
En el futuro, algunas tendencias mundiales tendrán un impacto decisivo sobre las perspectivas de mediano plazo y largo plazo de la energía eólica⁵:

1. El debate en curso sobre el cambio climático y cómo encontrar soluciones de energía libre de emisiones.
2. El agotamiento de los fósiles, así como los recursos nucleares, especialmente reflejado en la aumento de los precios del petróleo, que en especial representan una enorme carga para los países en desarrollo.
3. Los daños causados por la utilización de los recursos fósiles, como se hizo evidente durante el desastre del derrame de petróleo en el Golfo de México, y la carga económica que ha puesto en la economía de los EE.UU.
4. La creciente conciencia sobre los riesgos relacionados con la utilización de la energía nuclear, recientemente impulsado por informes sobre el gran desastre nuclear de Fukushima / Japón.
5. La creciente conciencia sobre los aportes reales de la energía eólica y otras energías renovables, que son económica y socialmente sostenibles.
6. Otras mejoras en la energía eólica y tecnologías relacionadas, incluyendo tecnologías de almacenamiento.

En la Figura 5, se describe la tendencia de crecimiento que tendrá el sector de energía eólica en el mundo hasta el 2020, lo cual resulta un panorama ventajoso frente a otras formas de generación de energía.

⁵ Ibid.

Figura 5 Capacidad de generación de energía eólica en el mundo hasta 2020

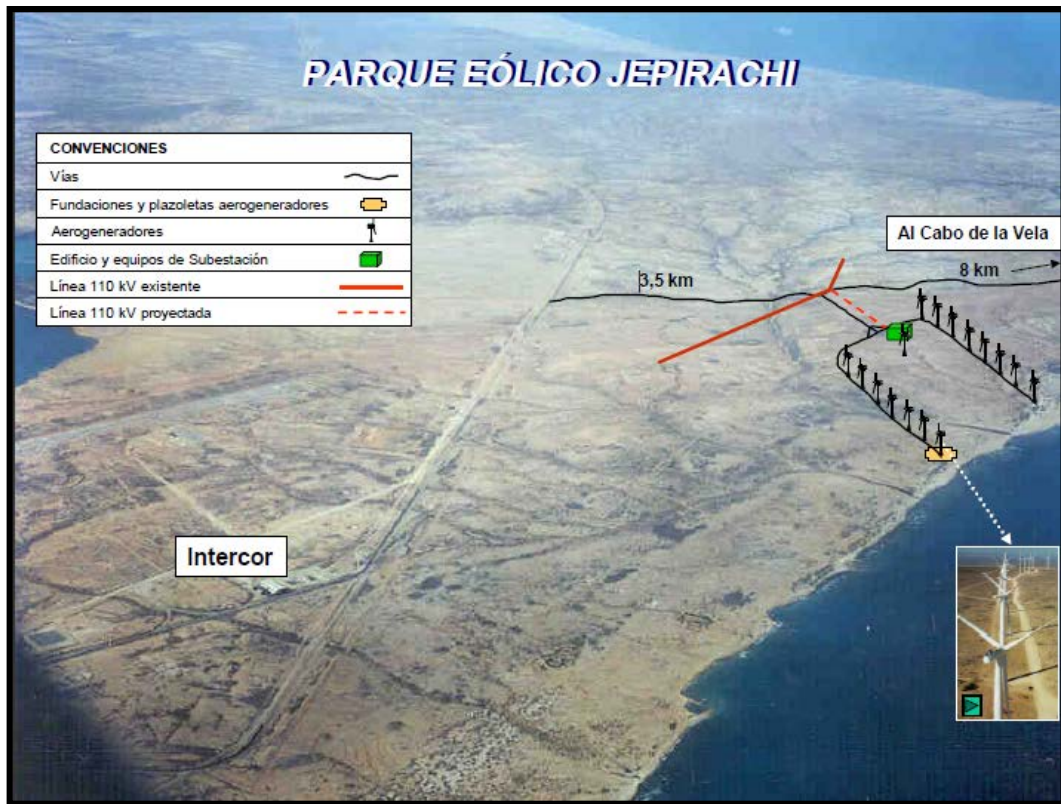


Fuente: World Wind Energy Report2010, WWEA

1.1.2 Energía Eólica En Colombia. En Colombia, la región más atractiva desde el punto de vista eólico es la Costa Atlántica Colombiana, donde los vientos aumentan en dirección a la península de La Guajira, zona que representa una de las alternativas con mayores posibilidades para la generación eólica, tanto por sus fuertes vientos, como por otras particularidades dirección, distribución de frecuencias y complementariedad con el régimen hidrológico, además de las excelentes condiciones físicas para parques eólicos

El único parque eólico es el **Jepirachi** ubicado en el departamento de la guajira, el cual cuenta con una capacidad de generación eléctrica de 19,5 Mw, que representan el 0,15 % del potencial nacional.

Figura 6 Ubicación parque eólico JEPIRACHI

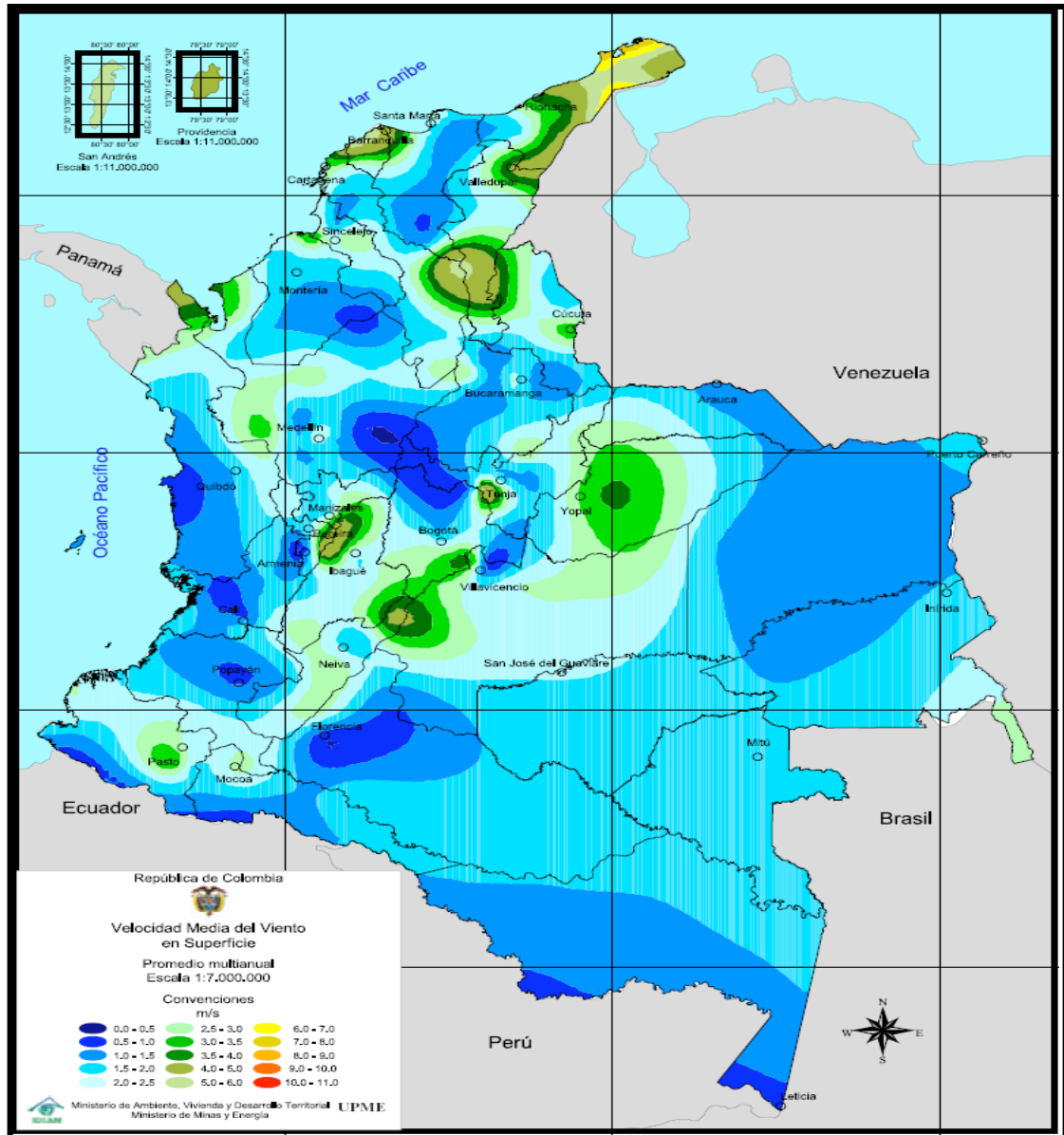


Fuente: Empresas Públicas de Medellín E.S.P, Gerencia generación de energía 2006

Este parque cuenta con 15 aerogeneradores NORDEX N 60/1300, los cuales tienen una potencia nominal de 1.3 Mw c/u y una influencia de vientos con velocidad promedio de 10.01 m/s. Jepirachi, produce anualmente un promedio de 80 Gw*h/año y tiene un factor de capacidad de aproximadamente 47%⁶.

⁶ Empresas Públicas de Medellín E.S.P, Gerencia generación de energía 2006

Figura 7 Recurso eólico en Colombia



Fuente: UPME (2006)

Como se ilustra en la Figura 7, en Colombia, además de la costa atlántica, existen zonas que presentan velocidades de viento útiles para la generación de energía eólica como en los andes santandereanos, piedemonte llanero y San Andrés.

A pesar de que en la actualidad el aprovechamiento de la energía eólica no es económicamente viable en las condiciones actuales del sector eléctrico Colombiano, debido a los presentes fenómenos climatológicos que enfrenta el país, no es bueno depender en un porcentaje tan alto de una fuente de energía tan inestable como la hidráulica, este hecho sumado al gran porcentaje de regiones rurales del país sin fluido eléctrico, muestran al sector eólico como una alternativa sólida para suplir las diferentes necesidades del país.

1.1.3 Aplicaciones. Actualmente, la energía eólica se está convirtiendo, cada vez más, en una fuente muy importante dentro de las energías renovables y además, en principio, está disponible en todas partes. La producción de energía eléctrica a través del viento normalmente se asocia con la imagen de numerosos y grandes aerogeneradores que se encuentran formando los denominados parques eólicos. Sin embargo, también se pueden utilizar instalaciones eólicas de pequeño tamaño para dicho fin. Acostumbrados a las grandes turbinas eólicas, es fácil olvidar el papel tan importante que desempeñan los aerogeneradores de baja potencia. La potencia de estas máquinas oscila desde apenas unos kilovatios hasta el centenar, y resultan tremendamente útiles en casas aisladas, granjas, campings, sistemas de comunicación y otras aplicaciones para el autoconsumo, pero son muy pocos los usuarios con equipos conectados a red.

Los aerogeneradores de baja potencia presentan características que hacen que sean una opción muy interesante en la producción de la energía eléctrica y entre ellas cabe destacar las siguientes: se evitan pérdidas en transporte, ya que la energía se producirá en el mismo lugar que se demanda. No requieren grandes espacios para su instalación, en las zonas urbanas se pueden instalar en los tejados de los edificios, entre otras.

1.2 POTENCIAL EOLICO

En la producción de energía eólica, el viento es la materia prima del proceso y sus características (velocidad, densidad, temperatura) influyen de manera significativa en la cantidad de energía que producirá el sistema. Teniendo en cuenta lo anterior se realizó un análisis para encontrar una relación de las variables que actuaban en el viento y su importancia en la generación de energía, de ahí el uso del término de Potencia Extraíble del Viento, el cual hace referencia a la energía cinética que produce una corriente de aire relacionada por una unidad de tiempo, esta relación está definida de la siguiente manera:

$$P_v = \frac{\rho * A * V^3}{2} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde,

P_v = Potencia Extraíble del viento. (W)

ρ = Densidad del aire. (Kg/m³.)

A= Área barrida por el aerogenerador. (m²)

V= Velocidad del viento. (m/s)

Del análisis de esta ecuación se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Que la velocidad a la que el aire pasa por las palas resulta determinante, pues la energía del viento es proporcional al cubo de la velocidad a la que se mueve.

- La potencia es directamente proporcional al área barrida por el rotor de la turbina. Por lo tanto, otro factor importante en la cantidad de energía es el radio del rotor. Un incremento relativamente pequeño de la longitud del aspa o del diámetro del rotor produce un importante incremento de la potencia.
- La potencia depende linealmente de la densidad del aire, cuanto más pesado sea el aire más energía recibirá el aerogenerador.

La potencia según la Ecuación (1) es la máxima potencia que se podría extraer del viento, si toda la energía cinética del viento se pudiese convertir en energía útil, pero diferentes limitaciones como rozamientos aerodinámicos y mecánicos, límite de Betz, rendimiento del generador eléctrico, etc., sólo permiten en la práctica aprovechar en el mejor de los casos un 40 % de la potencia eólica disponible. La potencia eólica extraída o captada del viento por el rotor de la máquina se conoce como potencia eólica aprovechada o recuperada (P_a). El rendimiento de conversión se describe por medio de un coeficiente de conversión o de potencia (C_p) definido como la relación entre la potencia aprovechada y la disponible. Este coeficiente tiene un límite máximo que se conoce como límite de Betz y depende del tipo de generador, de la geometría del mismo, de su velocidad de giro y de la velocidad del viento⁷.

Teniendo en cuenta lo anterior, la potencia aprovechada por el aerogenerador se puede calcular así:

$$P_a = P_v * C_p \quad \text{Ecuación (2)}$$

⁷ CIEMAT, ESPAÑA, AEROGENERADORES DE POTENCIA INFERIOR A 100 Kw

1.3 TIPOS DE AEROGENERADORES

Dependiendo de la posición del eje de giro de los aerogeneradores respecto a la dirección del viento, los aerogeneradores se clasifican en dos grandes grupos:

1.3.1 Aerogeneradores de eje horizontal. En estos modelos el eje de rotación es paralelo a la dirección del viento. Son los más utilizados en el sector eólico y han presentado avances tecnológicos muy importantes en sus diseños y construcción.

Figura 8 Aerogenerador de eje horizontal



Fuente: World Wind Energy Report2010, WWEA

Este tipo de aerogeneradores, a su vez, se pueden clasificar, según su velocidad de giro, en⁸:

⁸ CIEMAT, ESPAÑA, AEROGENERADORES DE POTENCIA INFERIOR A 100 Kw

- **Aerogeneradores lentos.** En general, están constituidos por un número alto de palas, multipalas, que cubren casi toda la superficie del rotor. Poseen un elevado par de arranque, gracias al cual pueden ponerse en marcha incluso con velocidades de viento muy bajas. Su baja velocidad de rotación hace que sean poco útiles para la producción de electricidad, siendo su uso más frecuente para el bombeo de agua.
- **Aerogeneradores rápidos.** Presentan un par de arranque pequeño y requieren velocidades de viento del orden de 4 a 5 m/s para su puesta en marcha. La mayoría poseen tres palas y se utilizan para la producción de electricidad, a través de su acoplamiento con un alternador. Su gama de potencias es muy amplia, va desde modelos de 1 Kw, usados en instalaciones autónomas, a modelos de gran potencia (decenas de Mw).
- **Aerogeneradores de velocidad intermedia.** Tienen entre 3 y 6 palas y sus prestaciones están comprendidas entre las correspondientes a los dos casos anteriores. Se utilizan cuando las condiciones de viento no son muy favorables y en general son de pequeña potencia. Su aplicación principal es en equipos autónomos para producción de electricidad.

Tabla 1 Parámetros de Aerogeneradores de Eje Horizontal

TIPO	PALAS	RPM	USOS
LENTOS	≥ 8		Bombeo de agua
INTERMEDIOS	3 - 6		Producción de energía en pequeñas magnitudes (Hasta 2 Kw)
RAPIDOS	3		Producción de energía a gran escala (Decenas Mw)

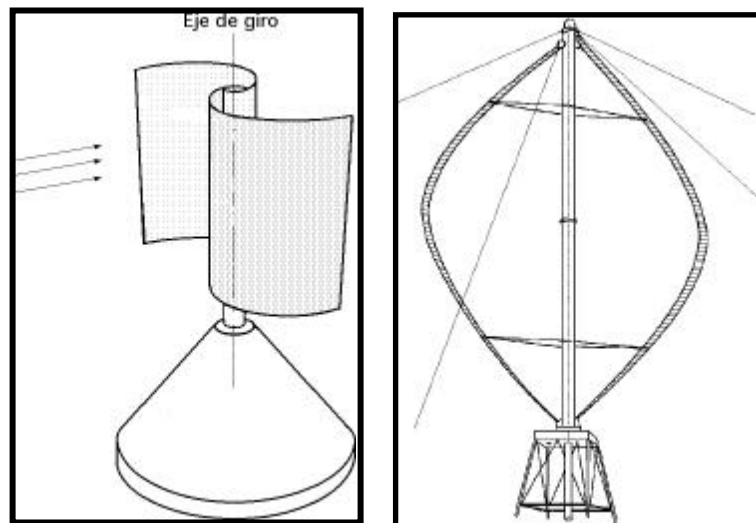
Fuente: Autor.

1.3.2 Aerogeneradores de eje vertical. En estos el eje de rotación es perpendicular a la dirección del viento. Presenta ciertas ventajas en el

mantenimiento, pero su rendimiento es menor que uno de eje horizontal de su misma potencia. Existen dos diseños básicos⁹:

- Tipo Savonius: su principal ventaja consiste en trabajar con velocidades de viento muy bajas. Se compone de dos semicilindros de igual diámetro situados paralelamente al eje vertical de giro (Figura 8), en el diseño original estaban separados una pequeña distancia el uno del otro. La fuerza que el viento ejerce en las caras de los cilindros (cara cóncava y cara convexa) es distinta, por lo que las hace girar alrededor del eje. Este sistema presenta buenas características aerodinámicas para el autoarranque y la autorregulación. Su campo de aplicación está en la producción autónoma de electricidad o el bombeo de agua.

Figura 9 Aerogeneradores de eje vertical (izq. Savonius, der. Darrieus)



Fuente: CIEMAT, ESPAÑA, AEROGENERADORES DE POTENCIA INFERIOR A 100 Kw

- Tipo Darrieus. Están formados por dos o tres palas de forma ovalada de perfil aerodinámico (Figura 9) y tienen características parecidas a las de eje horizontal, presentando un par de arranque muy pequeño. Su potencia es

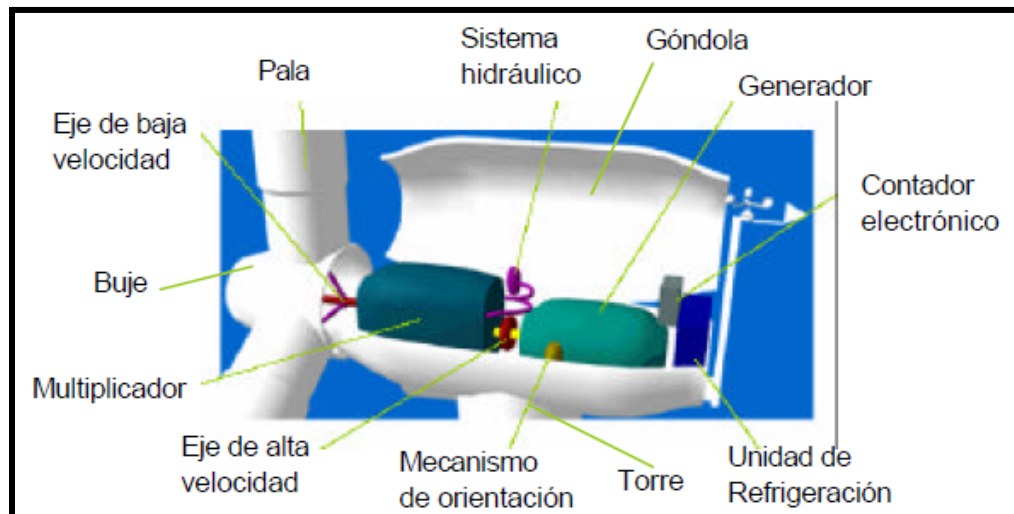
⁹ CIEMAT, ESPAÑA, AEROGENERADORES DE POTENCIA INFERIOR A 100 Kw

pequeña y aunque su aplicación es similar a los aerogeneradores rápidos de eje horizontal, están poco implantados.

1.4 PARTES DE UN AEROGENERADOR

Como en general, los aerogeneradores objeto de nuestro proyecto (Baja potencia) son de eje horizontal, a continuación se realizó una breve descripción de los componentes principales que constituyen este tipo de aerogeneradores (Figura 10).

Figura 10 Partes de un aerogenerador de eje horizontal



Fuente: Energía Eólica, IDEA

- **Rotor**, es el encargado de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica, sus características geométricas y dinámicas determinan la potencia y el rendimiento del aerogenerador.
- **Transmisión**, que está compuesta por dos ejes, uno de baja velocidad y otro de alta velocidad, su función es multiplicar la velocidad de giro que llega del rotor para adaptarla a las necesidades del generador.

- **Generador**, su función es transformar la energía mecánica que llega del rotor en energía eléctrica.
- **Góndola**, en esta parte se encuentra el generador eléctrico, la transmisión y los sistemas de regulación, control y frenado.
- **Sistema de control**, por un lado su función es detener la máquina y limitar su velocidad de giro por razones de seguridad y por el otro es mantener la velocidad de giro del rotor dentro de ciertos límites para obtener un alto rendimiento.
- **Sistema de orientación**, se encarga de mantener el plano de rotación del rotor perpendicular a la dirección del viento, optimizando el aprovechamiento energético del viento.
- **Torre**, es el elemento del sistema encargado de soportar todos los componentes del aerogenerador y el empuje del viento.

1.5 CARACTERÍSTICAS DE UN AEROGENERADOR

Los parámetros de diseño más importantes en un aerogenerador se encuentran en las palas, ya que son ellas las encargadas de transformar la energía, y sus características geométricas y dimensionales, son las variables que más influyen en el funcionamiento del mismo. Las palas geométricamente están definidas por el diámetro del rotor, este diámetro depende directamente de la potencia que se desea obtener. El número de palas tiene que ver con el objetivo del aerogenerador. Para esta necesidad de generación eléctrica a poca escala, está relacionada con un número de palas entre 3 y 6.

1.5.1 Relación de velocidad de punta. Como se afirmó en la Sección 1.2, la potencia del viento aprovechable por un aerogenerador depende, entre otros parámetros, del coeficiente de potencia C_p . Uno de los objetivos del diseño de aerogeneradores, es la búsqueda de maximizar este valor y alcanzar dentro de las posibilidades el C_p ideal de Betz que es igual a 0,59.

Un parámetro que ayuda a encontrar este valor óptimo y comparar el aprovechamiento del viento de diferentes máquinas eólicas, es la **relación de velocidad de punta (λ) o TSR**, que se define como la relación entre la velocidad tangencial en la punta del aerogenerador (o velocidad periférica) respecto de a la velocidad no perturbada del viento incidente y se representará así¹⁰:

$$\lambda = \frac{V}{v} = \frac{R \cdot \omega}{v} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde,

λ = Relación de velocidad de punta (adimensional)

$V\omega$ = Velocidad de giro del rotor. (m/s)

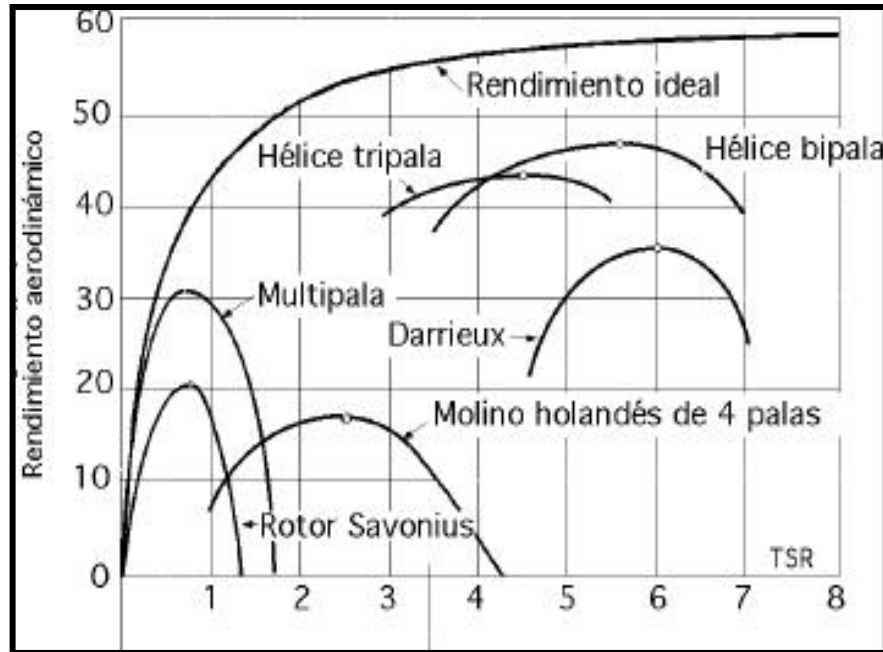
R = Radio de la pala. (m)

ω = Velocidad angular. (Radianes/segundo = $2\pi/s = v/R$)

v = Velocidad del viento antes (no perturbada) del rotor. (m/s)

¹⁰ Análisis del Comportamiento Aerodinámico de Perfiles empleados en Aerogeneradores de Baja Potencia, Alejandro J. Carantoña O.

Figura 11 Coeficientes de potencia en función del TSR



Fuente: Análisis del Comportamiento Aerodinámico de Perfiles empleados en Aerogeneradores de Baja Potencia, Alejandro J. Carantoña O.

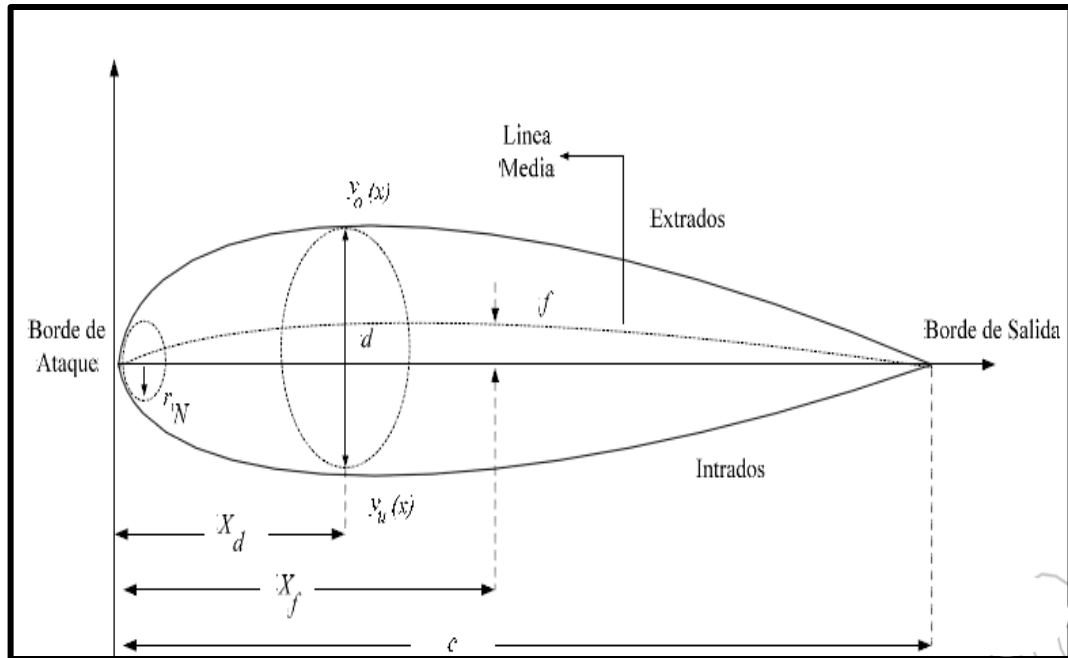
Como se muestra en la Figura. 11, cada tipo de aerogenerador tiene su curva C_p vs. λ . Las turbinas eólicas de eje horizontal como el tipo multipala americano funciona a bajas velocidades de viento y su eficiencia también es baja. El de dos palas tiene la más alta eficiencia, mientras que el de tres palas se acerca a 0,4 pero a una velocidad menor. Los aerogeneradores de eje vertical como el Savonius es el menos eficiente y funciona a velocidades de viento muy bajas, mientras el Darrieux tiene una alta eficiencia. Un aerogenerador debe diseñarse para un valor de λ óptimo.

1.5.2 Perfil Aerodinámico. Las palas tienen una forma determinada, que le permite tener un comportamiento aerodinámico, esta forma se le llama perfil. El perfil es la forma aerodinámica que se observa al hacer un corte transversal sobre un punto de la pala y es el que determina de qué manera actuara el viento en el movimiento del rotor.

El perfil está definido por:

- La cuerda c , es una línea recta que une el borde de ataque y el borde de fuga del perfil.
- La línea de curvatura media es la línea media entre el extradós y el intradós.
- Curvatura máxima es la distancia máxima entre la línea de curvatura media y la línea de la cuerda.
- La posición de la curvatura máxima X_f , es importante en la determinación de las características aerodinámicas de un perfil.
- Espesor máximo X_d , es la distancia máxima entre la superficie superior e inferior (extradós e intradós).
- Borde de ataque: es la zona anterior del perfil.
- Borde de salida: es la zona posterior del perfil.
- Extradós: Cara de presión.
- Intradós: Cara de succión.
- Radio del borde de ataque r_N : es una medida delafilamiento del borde de ataque.

Figura 12 Terminología usada en perfiles aerodinámicos



Fuente: Análisis del Comportamiento Aerodinámico de Perfiles empleados en Aerogeneradores de Baja Potencia, Alejandro J. Carantoña O.

El tipo de perfil aerodinámico es uno de los parámetros de diseño más determinantes en el funcionamiento de las turbinas eólicas. La influencia del perfil sobre el coeficiente de potencia del aerogenerador viene determinada por el llamado rendimiento aerodinámico, que es el cociente entre la fuerza de sustentación y la de arrastre. Un Alto valor en esta relación permite que el coeficiente de potencia aumente y a su vez el radio de la turbina disminuya¹¹.

Para los aerogeneradores de alta velocidad el rendimiento aerodinámico es un parámetro clave en el diseño del rotor; mientras que para aerogeneradores de baja velocidad el factor de diseño dominante es el número de palas.

¹¹ Análisis del Comportamiento Aerodinámico de Perfiles empleados en Aerogeneradores de Baja Potencia, Alejandro J. Carantoña O.

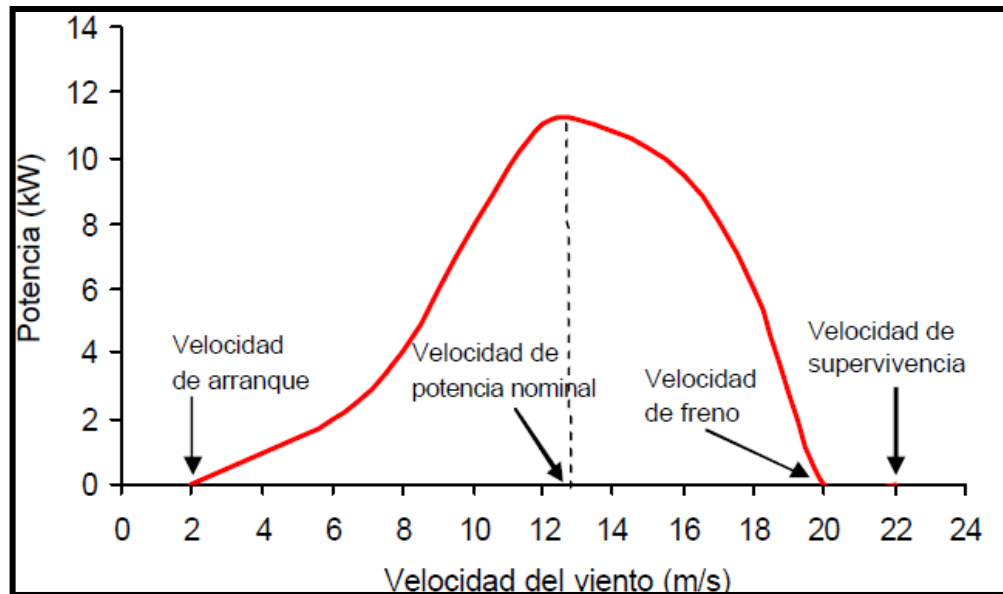
El comportamiento aerodinámico de los perfiles se mide en un túnel de viento a través del registro de sus coeficientes de sustentación y arrastre, para varios ángulos de ataque y al experimentar con una gran variedad de números de Reynolds. Los resultados de estos ensayos permiten identificar el desempeño de los perfiles para condiciones determinadas del flujo al cual son sometidos.

1.5.3 Curva de potencia de un Aerogenerador. La potencia generada por los aerogeneradores en relación de la velocidad del viento viene dada por la denominada curva de potencia. Dicha curva es una de las características más significativas de los aerogeneradores, ya que cada tipo de aerogenerador tiene su propia curva de potencia. Un aerogenerador está caracterizado por cuatro velocidades diferentes¹²:

- **Velocidad de arranque:** velocidad del viento a partir de la cual el generador empieza a producir electricidad.
- **Velocidad nominal:** la velocidad del viento para la que se alcanza la potencia nominal. El tramo de curva comprendido entre la velocidad de arranque y la nominal sigue una ley no lineal respecto a la velocidad.
- **Velocidad de freno:** la velocidad del viento a la cual el rotor se detiene por la acción de los sistemas de regulación y control para evitar el riesgo de sufrir algún daño dada la elevada velocidad del viento.
- **Velocidad de supervivencia:** Velocidad del viento por encima de la cual el aerogenerador puede dañarse a pesar de estar parado.

¹² CIEMAT, ESPAÑA, AEROGENERADORES DE POTENCIA INFERIOR A 100 Kw

Figura 13 Curva de potencia de un aerogenerador de 11 Kw



Fuente: CIEMAT, ESPAÑA, Aerogeneradores De Potencia Inferior A 100 Kw

En la Figura 13 se muestra una curva típica de aerogeneradores de pequeña potencia, en este caso la de un aerogenerador con potencia nominal de aproximadamente 11 Kw y se ilustran las velocidades ya mencionadas.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZAR AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA

Para caracterizar aerogeneradores de baja potencia es necesario conocer dos aspectos importantes. En primer lugar, las particularidades de un aerogenerador y sus principios de funcionamiento, ya que es ahí de donde se analiza, qué variables son determinantes, para así asociarlas con los objetivos del proyecto y seleccionar cuales serán medidas en nuestro banco. Y en segundo lugar, conocer las necesidades y requerimientos de una instalación de este tipo, de manera que podamos establecer las partes que conformaran el banco y de qué manera serán dispuestas, en pro de obtener unas características de flujo apropiadas para los ensayos a realizar.

En la práctica, este tipo de bancos experimentales en el cual se requiere aire con propiedades determinadas en la sección de pruebas son llamados Túneles de Viento.

Un Túnel de Viento es una instalación, la cual tiene como objetivo, obtener un flujo de aire determinado en la cámara de ensayos. En ésta, se sitúan modelos a escala de equipos reales o prototipos, para observar el efecto que el viento ejerce sobre ellos, de manera que puedan evaluarse o diseñarse soluciones para su desarrollo tecnológico. Dependiendo de las cualidades que se desean del flujo en la sección de ensayos, los túneles de viento pueden clasificarse en: Aerodinámicos y Capa limite.

En los túneles de viento aerodinámicos, se utiliza un flujo uniforme y de baja turbulencia. Como su nombre lo indica, este tipo de instalaciones se utilizan para estudio de perfiles aerodinámicos y fenómenos donde se requieran condiciones de fluido estables.

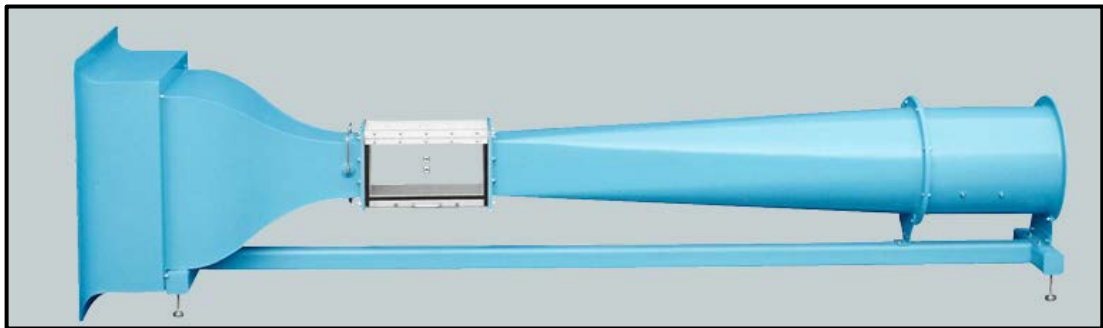
Por otra parte, los túneles de viento de capa límite, están diseñados para reproducir la capa límite en una determinada escala, permitiendo simular el comportamiento del viento natural. Su uso frecuente se centra en comprobar cómo se comportarán edificaciones, puentes y todo tipo de estructuras que puedan recibir la influencia peligrosa de ráfagas de viento turbulentas.

2.1 TIPOS DE DISEÑO

Los túneles de viento, pueden variar su estructura y la disposición de sus partes dependiendo de las necesidades y de los recursos dispuestos para su construcción y puesta en marcha, este hecho permite clasificarlos en dos grupos:

2.1.1 Circuito Abierto. Este tipo de túneles son los más fáciles y económicos de construir. En los circuitos abiertos el aire es expulsado directamente al recinto en donde se encuentra ubicado, el cual debe ser lo suficientemente grande para garantizar que no se presenten grandes perturbaciones en el flujo de retorno y cambios en la temperatura del fluido.

Figura 14 Túnel de viento circuito abierto, Succión

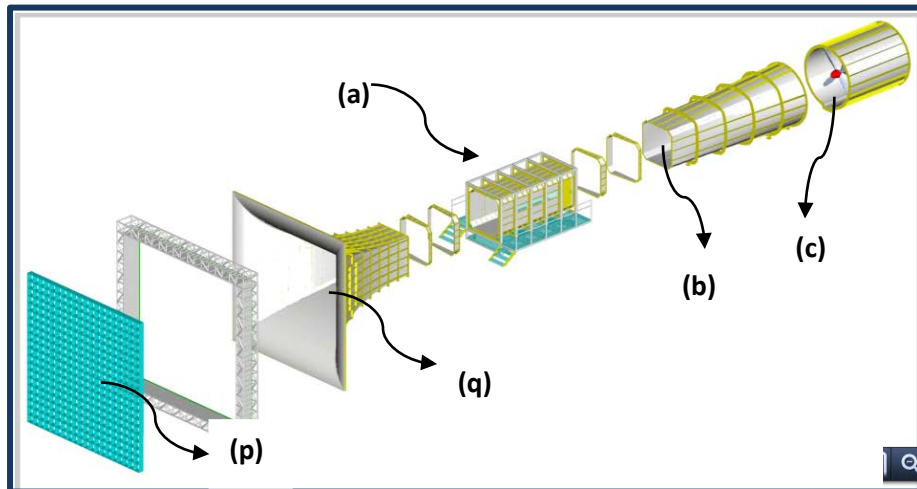


Fuente: AEROLAB, LLC

Hay dos tipos básicos de diseño de túneles de viento de circuito abierto, tipo succión (Ver Figura 14), en donde generalmente se utiliza un ventilador axial para succionar el aire a presión atmosférica y pasarlo hasta la sección de pruebas. Este

tipo de diseño minimiza las fluctuaciones causadas por el ventilador, ya que el aire pasa antes por la sección de pruebas¹³.

Figura 15 Partes de un Túnel de viento circuito abierto, Succión



Fuente: Diseño de un túnel de viento, Jonathan Blanco, España, 2008

El otro diseño es el de tipo soplador (Ver Figura 15), en donde el aire es impulsado generalmente por un ventilador centrífugo hacia la sección de pruebas es decir, la sección motriz se encuentra aguas arriba de la cámara de ensayos.

¹³ Diseño de un túnel de viento, Jonathan Blanco, España, 2008

Figura 16 Túnel de viento circuito abierto, Soplador



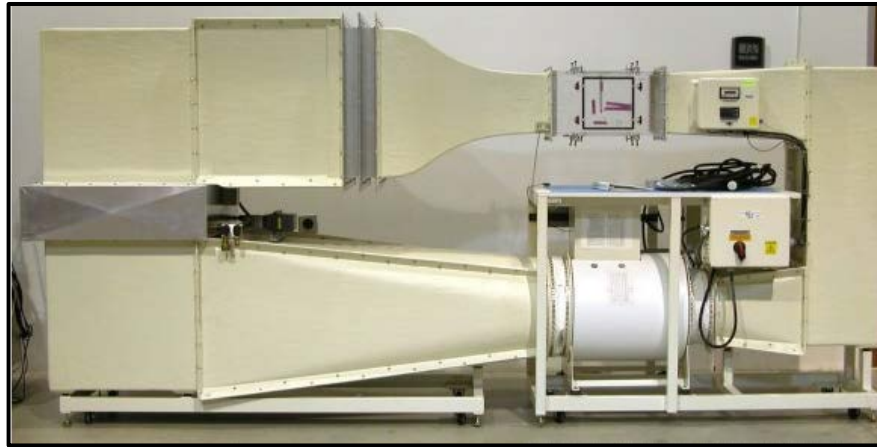
Fuente: Diseño de un túnel de viento para pruebas de ventiladores, Universidad EAFIT, 2008

Este diseño genera mayores velocidades en la sección de ensayos que uno de succión, pero resulta necesario un mayor control del flujo con acondicionadores de corriente, para así lograr una calidad del viento requerida en la sección de ensayos¹⁴.

2.1.2 Circuito Cerrado. Como su nombre lo indica este modelo permite tomar el aire de un camino continuo y cerrado. En estos túneles la salida del difusor está conectada a la contracción por un conducto de retorno, lo que hace que el aire recircule. Este tipo de túnel presenta menores pérdidas que un túnel abierto aunque por el contrario resulta más caro al ser más grande, más complejo en su fabricación al necesitar un control térmico exhaustivo del fluido que circula por el túnel y que se calentará con el paso por los ventiladores. En la figura 16, se muestra un túnel de viento de circuito cerrado, la zona (a) es la sección de ensayos y (h) es el sistema de propulsión.

¹⁴ Diseño de un túnel de viento, Jonathan Blanco, España, 2008

Figura 17 Túnel de viento circuito cerrado



Fuente: Diseño de un túnel de viento, Jonathan Blanco, España, 2008

En los túneles de viento de circuito cerrado, es necesario forzar a la corriente de aire a realizar giros, pero de manera ordenada para así evitar que se eleve más allá de lo razonable la pérdida de carga e introducir perturbaciones en la corriente.

Tabla 2 Ventajas y Desventajas de túneles de viento de circuito abierto y cerrado.

	CIRCUITO ABIERTO	CIRCUITO CERRADO
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de construcción es mucho menor que un cerrado de un mismo tamaño de sección de ensayos¹⁵. • Son más práctico para la realización de proyectos de investigación y educación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor ruido cuando se encuentra en operación. • Requiere de menos energía para un tamaño definido de sección de pruebas y velocidad. • El aire que entra en la sección de pruebas está libre de polvo u otras partículas. • La calidad del flujo se puede controlar y es

¹⁵ Low-speed Wind Tunnel Testing, J.Barlow, W. Rae, A. Pope, Third Edition

	CIRCUITO ABIERTO	CIRCUITO CERRADO
		independiente a las condiciones climáticas.
DESVENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> • Para un tamaño y velocidad dada requiere de mayor energía para funcionar¹⁶. • En general tienden a ser ruidosos. 	<ul style="list-style-type: none"> • El costo de construcción es mayor debido a los ductos de retorno y a los direccionadores en las esquinas. • Si se trabaja por tiempo prolongados es necesario adecuar un sistema de refrigeración. • Si se usa continuamente para visualización de flujo, se debe implementar un sistema de purgado para evitar la recirculación de humos.

Fuente: Autor.

En la Tabla 2 se muestran las ventajas y desventajas de los túneles de viento de circuito abierto y cerrado, estos criterios son de mucha utilidad a la hora de seleccionar el tipo de instalación, dependiendo de las aplicaciones para las cuales será utilizada.

2.2 SECCIONES PRINCIPALES EN UN TUNEL DE VIENTO

Un túnel de viento sin importar su diseño, está compuesto básicamente por las mismas secciones principales. Cada una de estas partes, son diseñadas cuidadosamente con el fin de garantizar que se cumplan las condiciones de flujos

¹⁶ Low-speed Wind Tunnel Testing, J.Barlow, W. Rae, A. Pope, Third Edition

requeridas en la sección de pruebas, para así obtener pruebas experimentales que arrojen resultados útiles y confiables. En las figura 15 se ilustran estas secciones las cuales dependiendo del diseño pueden cambiar su ubicación dentro del circuito. A continuación se realizara una descripción de estas secciones.

2.2.1 Sección de Ensayos. Es la sección más importante de un túnel de viento Ver figura 15 (a). Es la primera sección en determinarse ya que es el núcleo y el objetivo principal del proyecto. En la sección de ensayos es donde se instalan los modelos u objetos de estudio y se determinan visual y físicamente las variables que buscamos conocer en del ensayo.

La sección de ensayos puede tener distintas geometrías en su sección transversal, puede ser circular, rectangular, octogonal, entre otras, y para cada una se tienen consideraciones especiales.

La sección circular es conveniente cuando se utiliza sección circular en todo el sistema, permite una buena uniformidad del flujo, lo que nos ayuda en la medición de velocidades del viento. Se pueden presentar dificultades para quitar y poner el modelo, debido a la dispendiosa construcción de puertas en conductos circulares, a pesar de esto es la sección más económica de manufacturar.

La sección ortogonal presenta caras planas, facilitando el montaje y el desmontaje de los modelos. Es la sección de mayor dificultad en la manufactura y en el mayor de los casos, resulta la más costosa de los diseños comunes.

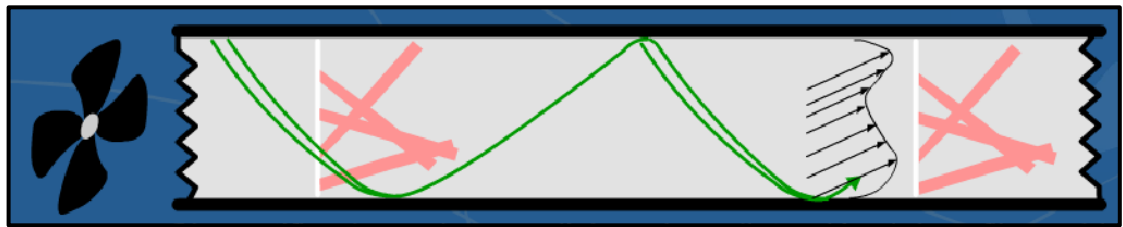
La sección rectangular es la más empleadas en los diseños por su facilidad de manufactura y porque facilita procesos de nuevas técnicas de medición de variables por tener fácil acceso y montaje de equipos e instrumentos de medición.

Es la sección transversal más recomendada por autores y diseñadores.

2.2.2 Difusor de salida. El difusor Ver Figura 15 (b), se encuentra después de la cámara de ensayos. Es un canal divergente cuya función es reducir la velocidad de la corriente con la menor pérdida de energía posible, esto con el fin de ganar presión en el fluido de la forma más eficiente. En túneles de viento a succión, el generador de flujo es instalado en esta sección y su ángulo de difusión debe ser seleccionado de tal manera de evitar inestabilidades del flujo a la entrada del generador.

2.2.3 Sección de acondicionamiento de flujo. Esta sección es la requerida para estabilizar el flujo, y es en donde se albergan las mallas y el direccionador de flujo.

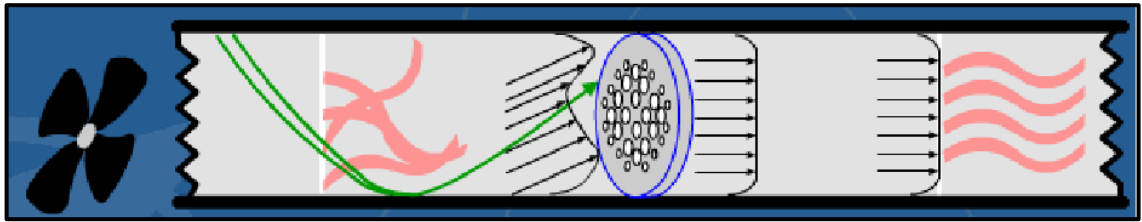
Figura 18 Variación del perfil de velocidades (sin mallas y sin direccionador de flujo)



Fuente: Diseño y construcción de una instalación para la calibración de medidores de velocidad de aire utilizando como patrón el banco de alto caudal del CDT del gas.

El direccionador de flujo reduce principalmente las variaciones de velocidad en la dirección del flujo, y presenta muy baja influencia en la variación de la velocidad de las líneas aerodinámicas debido a que la caída de presión a través del direccionador es baja.

Figura 19 Variación del perfil de velocidades (con mallas y sin direccionador de flujo)



Fuente: Diseño y construcción de una instalación para la calibración de medidores de velocidad de aire utilizando como patrón el banco de alto caudal del CDT del gas.

Las mallas Ver Figura 15 (p), hacen los perfiles de velocidad más uniformes mediante la caída de presión estática la cual es proporcional a la velocidad al cuadrado y por lo tanto reduce el espesor de la capa límite. Una malla también refracta el flujo incidente hacia la normal local y reduce la intensidad de turbulencia en todo el campo de flujo.

Además de estos componentes, es comúnmente usada una sección adicional que se ubica entre la salida de la contracción y la entrada de la sección de ensayos, que se encarga de desarrollar el perfil de velocidad del flujo con el fin de maximizar el área efectiva de fluido disponible para las mediciones. A la vez, esta sección puede ser de mucha utilidad para la implementación de sistemas de simulación de capa límite, los cuales son instalados unos diámetros aguas arriba de la sección de ensayos con el fin de perturbar de manera controlada las características del viento.

2.2.4 Sección de Contracción. Es la sección inmediatamente antes de la sección de pruebas y tiene como función principal acelerar el flujo, permitiendo que la sección de adecuación de flujo sea de baja velocidad y así reducir las pérdidas del túnel. Ver Figura 15 (q).

Es una de las secciones más críticas del túnel, ya que condiciona tres características fundamentales del flujo en la sección de ensayos: la uniformidad del perfil de velocidades, el grado de turbulencia y el espesor inicial de la capa límite.

El diseño de la sección de contracción es realizado tradicionalmente a criterios del diseñador, y en algunos casos bajo adaptaciones a métodos de aproximación o formas que experimentalmente han sido exitosas. La experiencia demuestra que el radio de curvatura debe ser menor a la salida que a la entrada. La mayoría de los diseños de contracciones en túneles de viento son desarrollados bajo la teoría potencial.

2.2.5 Generador de flujo. Es el elemento mecánico encargado de entregar la energía necesaria para condicionar el flujo a las velocidades requeridas en la sección de ensayos. Los ventiladores son las máquinas más usadas para producir el movimiento del aire en la industria. Su funcionamiento se basa en la entrega de energía mecánica al aire a través de un rotor que gira a alta velocidad y que incrementa la energía cinética del fluido, que luego se transforma parcialmente en presión estática.

Hay que diferenciar entre dos tipos constructivos básicos: Ventiladores radiales o centrífugos y ventiladores axiales.

En los ventiladores axiales el aire fluye a través del ventilador en dirección axial. Estos ventiladores transportan cantidades grandes de aire (caudales) con pequeños aumentos de presión (Ver Figura 20).

Figura 20 Ventilador Axial



Fuente: Catalogo Virtual GREENHECK

En los ventiladores radiales o centrífugos el aire ingresa en dirección paralela al eje del rotor, por la boca de aspiración, y la descarga se realiza tangencialmente al rotor, es decir que el aire cambia de dirección noventa grados. Su principio de funcionamiento es igual que el de una bomba centrífuga y alcanza presiones mayores que los ventiladores axiales. (Ver Figura 21)

Figura 21 Ventilador Centrifugo



Fuente: Catalogo Virtual GREENHECK

Los principales criterios que se deben tener en cuenta para la selección de un ventilador son:

- **Aerodinámica.** Los ventiladores axiales son más adecuados para suministrar flujos mayores a baja presión (tareas de alta velocidad específica), mientras que los ventiladores centrífugos están mejor adaptados para proporcionar flujos menores a alta presión (tareas de baja velocidad específica).
- **Polvo.** Los ventiladores centrífugos presentan una mayor resistencia a la erosión que provoca el polvo en suspensión, y pueden equiparse con camisas de gran tamaño y/o revestimientos especiales.
- **Altas temperaturas.** Los ventiladores centrífugos pueden tolerar las fluctuaciones de temperatura así como temperaturas mucho más elevadas que los ventiladores axiales.
- **Disposición.** El espacio disponible en una instalación puede resultar el factor determinante a la hora de elegir qué tipo de ventilador emplear, ya que los ventiladores axiales y los centrífugos ocupan superficies útiles significativamente distintas.
- **Suministro eléctrico.** La elevada inercia de un ventilador centrífugo implica que requiere más electricidad para ponerse en marcha que los demás, lo que puede resultar un factor significativo si la planta tiene limitaciones de suministro eléctrico.
- **Acústica.** Ambos tipos de ventilador tienden a generar niveles de ruido similares para una misma tarea, pero en los centrífugos predominan las bajas frecuencias y en los axiales las medias. Un ventilador axial produce menos ruido

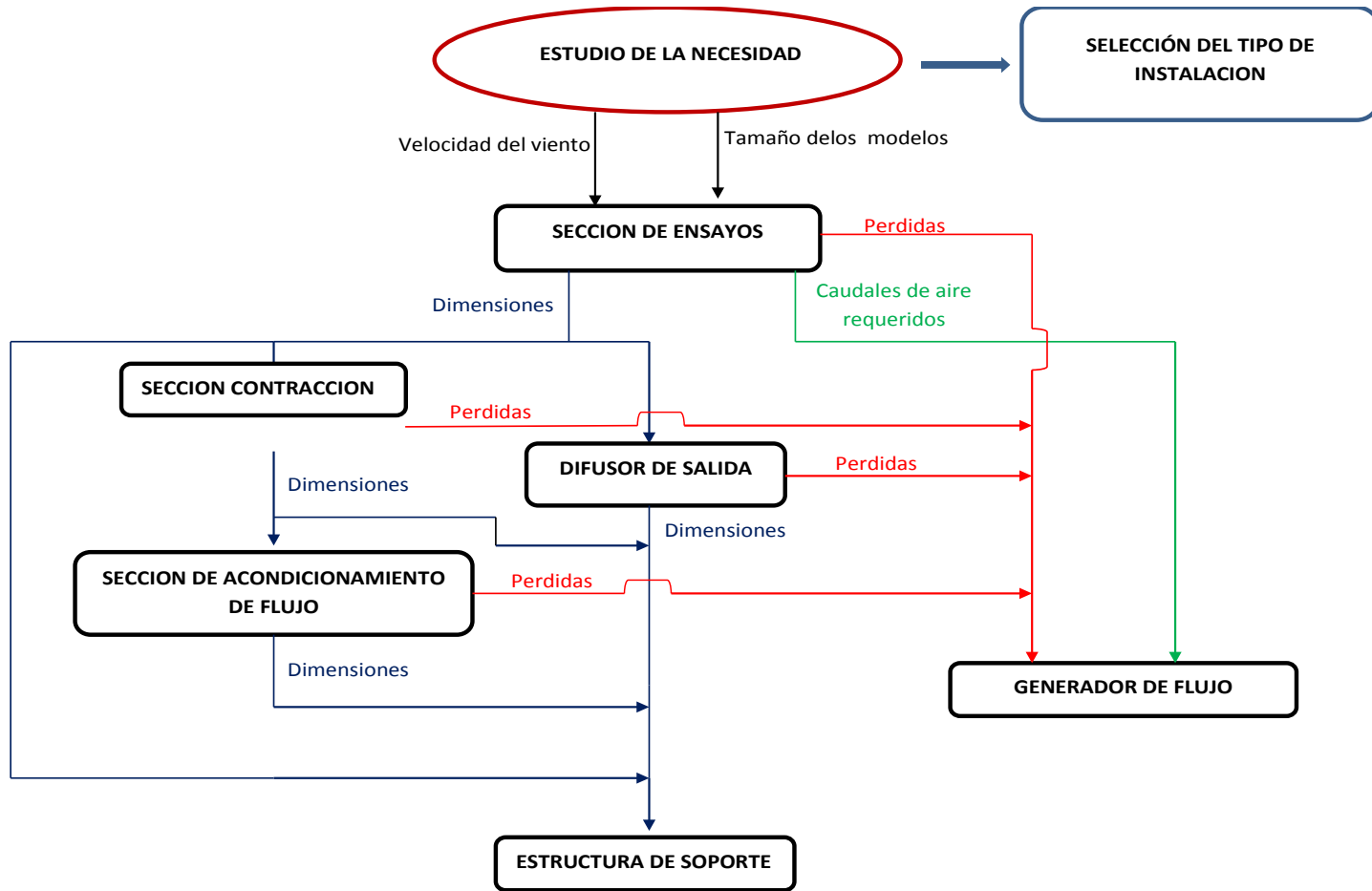
cuanto menor sea la carga, y un ventilador centrífugo hará más ruido al cerrarse los registros.

3. DISEÑO DE UN BANCO EXPERIMENTAL PARA LA CARACTERIZACION DE AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA

En el capítulo anterior se definieron las secciones principales que debería tener el banco experimental de interés. Lo cual, permite proveer la descripción del proceso de diseño que se utilizó para elaborar la propuesta de un banco experimental para la caracterización de aerogeneradores de baja potencia.

Este proceso de diseño, presenta una secuencia metodológica que se observa en una serie de pasos, los cuales, se pueden visualizar en la figura 8, en la cual; se denotan los procesos realizados, las variables de salida de importancia y su interrelación.

Figura 22 Diagrama de proceso de diseño



Fuente: Autor

3.1 ESTADO DEL ARTE DE LA FACILIDAD QUE SE VA DISEÑAR

El desarrollo del diseño del banco experimental parte de la necesidad del tamaño de los aerogeneradores que serán objeto de estudio, así como también de las condiciones (velocidad de viento) para las cuales serán evaluados. De esta manera se encontraron las características principales en el sistema e instalación, para realizar pruebas que sean de utilidad en la optimización de diseño de los prototipos de aerogeneradores a caracterizar en el banco.

Para cumplir con los objetivos de la instalación, es necesario definir en primera instancia el rango de velocidades que serán simuladas en el interior de la sección de ensayos del banco, de igual manera, y posteriormente se define la potencia requerida por la necesidad, obteniendo así la potencia crítica de los aerogeneradores que podrán ser estudiados en la facilidad tecnológica diseñada.

3.1.1 Velocidad del viento. La magnitud velocidad asociada al viento, es un parámetro muy importante para el diseño del banco experimental, ya que es un factor determinante para la selección del generador de flujo debida a su directa relación con el caudal de aire requerido.

Para la determinación del rango de velocidades al cual deberá trabajar el banco experimental, se toman ciertas consideraciones:

- La velocidad mínima de diseño acorde al requerimiento planteado en el capítulo anterior es de 5 m/s, la cual, fue tomada al considerar un promedio de velocidades de arranque, para aerogeneradores de baja potencia del mercado encontrado para diseñar y fabricar este tipo de aerogeneradores.
- Aunque a pesar que en el mapa de recurso eólico de Colombia se muestra que las regiones con mejor potencial eólico tienen velocidades promedio de viento

de 10-12 m/s¹⁷, se consideró la selección de una velocidad máxima de operación 15 m/s, con el objeto dar flexibilidad a los estudios en otras áreas de la ingeniería en las que se podrá utilizar este banco experimental.

Luego, el rango de velocidad seleccionado es de 5 - 15 m/s.

3.1.2 Envergadura de los modelos. El tamaño de los modelos que serán objeto de estudio del banco, es otro factor relevante en el diseño, ya que nos indica el punto de partida para dimensionar la sección más importante del banco, que es la sección de ensayos.

Para calcular esta variable asociada al diseño de la sección de ensayos, fue necesaria la consideración de la utilidad de los aerogeneradores de baja potencia, con el fin de asignar un valor de potencia nominal que permita dimensionar el tamaño del Eolo. Teniendo en cuenta lo anterior, resulto necesario el análisis de las siguientes variables:

- Energía requerida por la necesidad. (vivienda aislada)
- Las eficiencias en el sistema de almacenamiento del proceso.

Lo que dará como resultado la energía total que el aerogenerador debe entregar, este valor será de utilidad para la selección del tamaño del prototipo teniendo en cuenta que la producción de energía de un aerogenerador es directamente proporcional al área barrida por su rotor¹⁸.

¹⁷ Empresas Públicas de Medellín E.S.P, Gerencia generación de energía 2006

¹⁸ Aerogeneradores de potencia inferior a 100 kW, Ciemat, 2008

CALCULO DE ENERGIA TOTAL REQUERIDA PARA SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL AEROGENERADOR

Como se argumentó en el plan de proyecto, el objeto del diseño del banco experimental es proporcionar una herramienta tecnológica que facilite el estudio de aerogeneradores de baja potencia que servirán como solución, a casas en zonas rurales aisladas que no posean energía eléctrica. De esta manera, se consideró que la energía requerida por la necesidad, es el valor aproximado de energía que se consume en una casa de zona rural, sumada con las pérdidas de energía causada por la eficiencia del aerogenerador y el almacenamiento de la carga.

Para el cálculo de la energía total requerida, se utilizó la siguiente ecuación:

$$E_{reqt} = E_{reqf} + E_{p1} \quad \text{Ecuación (3)}$$

En donde,

E_{reqt} : Energía total requerida.

E_{reqf} : Energía requerida por una casa.

E_{p1} : Energía de pérdidas por eficiencias, sistema de almacenamiento y transporte.

Energía requerida por una casa (E_{reqi})

Como su nombre lo indica, esta es la energía aproximada que requiere una casa en una zona rural del país, y se calculó considerando las necesidades en un hogar de zona rural, teniendo en cuenta los aparatos eléctricos y electrónicos que se utilizan regularmente. Para esto se tomó como referencia un hogar de 5 personas y el cálculo de la energía requerida se realizó por medio de la siguiente tabla:

Tabla 3 Necesidades de una casa rural

APARATO	POTENCIA NOMINAL (W)	HORAS DE USO DIARIO(horas)	DEMANDA DIARIA (Kwh) = (w/1000)x hr	DEMANDA MENSUAL (Kwh)
BOMBILLOS X 4	(20 x 4) = 80	5	0,4	12
TELEVISION X 1	70	4	0,28	8,4
RADIO X 1	40	3	0,08	3,6
VENTILADOR x 2	60 x 2 = 120	6	0,72	21,6
NEVERA X 1	120	7	0,84	25,2
ENERGIA REQUERIDA(mes)	-----0-----	-----0-----	-----0-----	70,1

Fuente: Autor

Luego, La demanda mensual de energía requerida por una casa (Ereqi) es de **70 Kw-hr /mes**, y:

$$E_{reqf} = 70,1 \frac{\text{Kw} - \text{hr}}{\text{mes}}$$

Energía perdida por sistema de almacenamiento (Ep1)

Se encontró, que en los sistemas que no se encuentran conectados a una red eléctrica, generalmente disponen de algún sistema de almacenamiento con el objeto de proveer la energía en cada periodo en el cual el recurso eólico no satisfaga las necesidades de operación de los aerogeneradores, es decir, en periodos de tiempo donde el nivel de viento es bajo. Este tipo de situaciones, produce ineficiencias en el sistema que deben tenerse en cuenta a la hora de calcular la potencia que necesitara el aerogenerador para cierta aplicación.

Como se describió en el primer capítulo, existen varios sistemas de almacenamientos para aplicaciones con aerogeneradores, pero considerando la aplicación (casas rurales), las baterías son una solución práctica para el sistema.

Los sistemas de almacenamiento generalmente tienen un rendimiento en relación a la energía eléctrica recibida en el proceso de carga y la que el acumulador entrega durante la descarga. Para cualquier tipo de sistema de almacenamiento por batería el rendimiento está entre 60 -75%¹⁹.

Para el cálculo de las pérdidas debidas al rendimiento del sistema de almacenamiento se utilizó el valor de 65% tomando un valor medio como parámetro de diseño. Entonces el valor de pérdidas de energía por el sistema de almacenamiento se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$Ep1 = 0,35 * Ereqf \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$Ep1 = 0,35 * 70,1 \frac{\text{Kw} - \text{hr}}{\text{mes}}$$

$$Ep1 = 24,5 \frac{\text{Kw} - \text{hr}}{\text{mes}}$$

De la Ecuación (1), tenemos:

$$Ereqt = 70 \frac{\text{Kw} - \text{hr}}{\text{mes}} + 24,5 \frac{\text{Kw} - \text{hr}}{\text{mes}}$$

$$Ereqt = 94,5 \frac{\text{Kw} - \text{hr}}{\text{mes}}$$

Si se conoce la energía que debe entregar el aerogenerador al mes, se puede conocer la potencia requerida (P_r). Considerando 30 días al mes y que el aerogenerador trabaje las 24 horas del día a una velocidad promedio tenemos

¹⁹ Aerogeneradores de potencia inferior a 100 kW, Ciemat, 2008

$$P_r = \frac{E_{reqt}}{hr * dias} \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$P_r = \frac{94,5 \frac{Kw - hr}{mes}}{24 * 30}$$

$$P_r = 131,2 W$$

Conociendo el valor de la potencia que debe entregar el aerogenerador, utilizando la Ecuación (2), tenemos:

$$P_r = P_v * C_p$$

Se asume un valor de $C_p = 0,4$, tomado de la Figura 11 valor que corresponde a un aerogenerador tripala de rendimiento promedio, y se calcula:

$$P_v = \frac{P_r}{C_p} = \frac{131,2 W}{0,4}$$

$$P_v = 328 W$$

Utilizando la Ecuación (1), se calculó el radio de pala del aerogenerador (r_p) asumiendo un valor de velocidad de viento de 10 m/s, que corresponde al valor máximo de velocidad de regiones en Colombia donde es viable la implementación de aerogeneradores, y una densidad de 1,2 Kg /m³, así:

$$328 W = \frac{1,2 \frac{Kg}{m^3} * A * \left(10 \frac{m}{s}\right)^3}{2}$$

$$\pi * r_p^2 = 0,55 m^2$$

$$r_p = 0.42 \text{ m}$$

De esta manera de nuestras necesidades de ensayos, concluimos dos parámetros importantes en nuestro proyecto:

Tabla 4 Parámetros evaluados de la necesidad del proyecto

RANGO DE VELOCIDADES REQUERIDA EN LA SECCION DE ENSAYOS	5 m/s - 15 m/s
RADIO DE PALA DE AEROGENERADOR	0,42 m

Fuente: Autor

3.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE INSTALACION

Como se describió en el capítulo anterior existen básicamente dos tipos de configuración para túneles de vientos. Por ende, la elección del tipo de instalación se basa en los datos disponibles y del propósito para el cual va a ser empleado.

Para realizar una selección más consciente y responsable, fue necesario escoger las características más importantes que definen un túnel de viento y de esta manera tener los criterios con los cuales se evaluara cada tipo de instalación. Con base en la información proporcionada en la Tabla 2, se efectuó una ponderación para cada una de estas características y así elegir la propuesta más conveniente para la necesidad (Ver Tabla 5).

Se optó por una instalación de tipo abierto a succión (Ver Figura 14), debido a que ofrece una alternativa sencilla, poco compleja y económica, de igual manera, se declara que otro criterio de selección es; que el flujo no recibirá las distorsiones inducidas por el generador de flujo antes de la sección de ensayo, lo que nos ofrece una mayor estabilidad y a la vez nos permite optimizar los mecanismos de

acondicionamientos para obtener la calidad que necesitamos en nuestra sección de ensayos.

Tabla 5 Tabla evaluativa para selección del tipo de instalación.

CARACTERISTICA	CIRCUITO ABIERTO	CIRCUITO CERRADO
UTILIDAD EN PROYECTOS DE INVESTIGACION Y EDUCACION	2	1
LINEAS DE FLUJO UNIFORME EN LA SECCION DE ENSAYOS	2	2
BAJO COSTO DE COSTRUCCION	2	0
BAJO COSTO DE MANTENIBILIDAD	2	1
BAJO COSTO DE OPERACION	1	2
BAJO NIVEL DE RUIDO	0	1
ESPACIO REQUERIDO	1	0
RESULTADO ²⁰	10	7

Fuente: Autor

Tipo de generador de flujo.

Para la selección del tipo de generador de flujo se evaluaron las características más importantes a considerar para la necesidad del proyecto, estas fueron calificadas teniendo en cuenta los criterios expuestos en la Sección 2.2.6 y se listaron en la Tabla (6) con el fin de obtener la mejor propuesta.

Tabla 6 Tabla evaluativa para selección del tipo de generador de flujo

CARACTERISTICA	AXIAL	CENTRIFUGO
Utilizados en instalaciones abiertas a succión	2	0
Menores requerimientos de adecuación de flujo.	2	0
Eficientes para vencer altas pérdidas friccionales	0	2
Nivel de ruido	0	1

²⁰ La calificación 2 es buena, 1 medio y 0 bajo, Autor.

CARACTERISTICA	AXIAL	CENTRIFUGO
Costo del ventilador	1	0
Costo de operación	1	0
Eficiencia estática	0	2
Espacio requerido	1	2
Potencia Requerida	2	0
Caudal	2	2
Resultado	11	9

Fuente: Autor

En base al resultado que arroja la Tabla 7, se eligió un ventilador de flujo axial, como el encargado de generar las condiciones de flujo requerida por el banco experimental.

3.3 DISEÑO DE SECCION DE ENSAYOS

La sección de pruebas está definida por dos parámetros importantes: la sección transversal y la longitud.

La sección transversal que se utilizó en el diseño de la sección de ensayo es de geometría cuadrada, la cual ofrece un fácil montaje y desmontaje de los modelos a estudiar. Por su facilidad en la manufactura permite un sistema modular más eficiente, los sistemas de medición de variables pueden ser adaptados con mayor facilidad y su coeficiente de pérdidas no cambia significativamente en comparación con los otros tipos de sección transversal utilizada.

Para determinar las dimensiones se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para secciones cuadradas, se encontró un concepto llamado relación de aspecto (Ra), el cual considera procesos experimentales del autor en el cual se

tienen en cuenta la distancia mínima entre el modelo y las paredes para evitar la generación de inestabilidades considerables en el flujo, y está definida así²¹ :

$$Ra = \frac{X_p}{X_E} = 0.8 \quad \text{Ecuación (6)}$$

$$X_E = \frac{0.84 \text{ m}}{0.8} = 1.05 \text{ m}$$

Donde,

X_p : Diámetro del aerogenerador, m. $X_p = 2 * r_p = 0.84 \text{ m}$

X_E : Dimensión de la sección transversal, m.

- La longitud de la sección de ensayos en la práctica, varía de una a dos veces el diámetro de la sección transversal²².

En base a lo anterior, se diseñó una sección de ensayos de sección transversal cuadrada con las siguientes dimensiones:

Tabla 7 Dimensiones de la sección de ensayos

(a₁) = Ancho de la sección de ensayos	1,05 m
(L₁) = Longitud de la sección de ensayos	2 m

Fuente: Autor

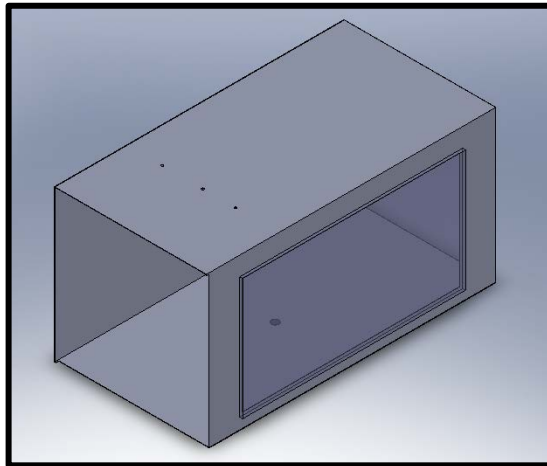
En la sección de prueba se diseñó una ventana de 1.5 m de largo x 0.8 m de ancho, que podrá ser removida por medio de pernos en sus extremos con el fin de realizar los montajes de los prototipos a estudiar (Ver figura 23).

²¹ Diseño de un túnel de viento subsónico para investigaciones aerodinámicas, Universidad de Chile, 1976.

²² Ibíd.

La sección de ensayos dispondrá de tres orificios, con los cuales se instalara la instrumentación necesaria para monitorear la presión, velocidad del viento y temperatura. Los orificios deberán ser instalados a una distancia de aproximadamente 0.25m del comienzo de la sección de ensayos y serán distribuidos en las caras laterales de la sección. Adicionalmente se instaló un orificio ubicado en el medio de cara inferior de la sección de ensayo, el cual, se dispondrá para el eje de la balanza de fuerzas sobre el que se instalaran los modelos a estudiar.

Figura 23 Sección de ensayos



Fuente: Autor

La sección de ensayos será construida en su totalidad de acrílico de 10 mm de espesor y tendrá en sus extremos bridas de encaje con el fin de ensamblar a los demás elementos.

3.4 DISEÑO DE LA SECCION DE CONTRACCION

Para el caso actual, se optó por una sección cuadrada siguiendo los criterios de la norma ANSI / AMCA Standard 210-85. La cual propone una serie de parámetros

de diseño teniendo en cuenta el ancho de la sección de ensayos que es el mismo ancho de la salida de la contracción de la siguiente manera:

- Para calcular el ancho de la entrada sección de contracción se utiliza la siguiente ecuación:

$$a_2 = (2 * 0.667 * a_1) + a_1 \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde,

a_2 = Ancho de la sección de entrada de la contracción.

Este valor debe ser comprobado con la recomendación que indica²³:

$$R_c = \frac{A_2}{A_1} \geq 5 \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde,

R_c : Relación de contracción.

A_1 : Área ancho sección salida.

A_2 : Área ancho sección entrada.

- Para el cálculo de la longitud de la contracción (L_2), se recomienda que esta no debe ser mayor a 1.25 veces el ancho de entrada de la contracción²⁴. La longitud de la contracción se calcula así:

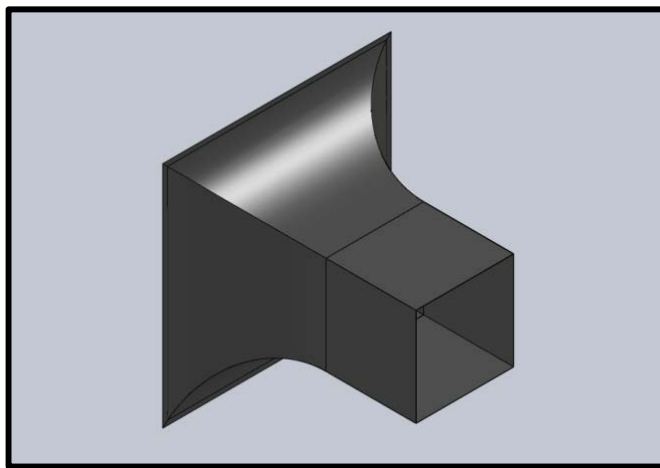
²³ Transformation of a Polynomial for a Contraction Wall Profile, Brassard, B. and Ferchichi, Journal of Fluids Engineering, Vol. 127, January 2005

²⁴ Diseño de un túnel de viento ultra laminar de velocidad controlada, Universidad de Chile, 2001

INSTALACIÓN PARA LA CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE VELOCIDAD DE AIRE, que se encuentra en el CDT del gas ubicado en el municipio de Piedecuesta, Santander.

Considerando lo anterior, las dimensiones de la sección de contracción (Ver figura 25), se muestran en la Tabla 8

Figura 25 Sección de contracción



Fuente: Norma ANSI/AMCA Standard 210-85

Tabla 8 Dimensiones de la sección de contracción

a_1 (m)	a_2 (m)	L_2 (m)	A_1 (m ²)	A_2 (m ²)	R_C
1,05	2,45	2,5	1.1	6,0	5,45

Fuente: Autor

El diseño cumple con la recomendación propuesta por la ecuación (7). En donde la razón de la contracción supera con el mínimo requerido para lograr una entrada confiable y eficiente.

3.5 DISEÑO DE LA SECCION DE ACONDICIONAMIENTO DE FLUJO

Para la sección de acondicionamiento de flujo fue necesario evaluar de diferentes puntos de vista, los efectos de cada elemento de la sección de acondicionamiento de flujo.

Considerando los criterios mencionados y su evaluación en la Tabla 9, se seleccionaron las mallas y la sección de desarrollo de flujo, y así obtener las características de flujo deseadas en la sección de ensayos.

Tabla 9 Evaluación de secciones de acondicionamiento de flujo.

CARACTERÍSTICA	DIRECCIONADOR DE FLUJO (HONEYCOMB)	SECCIÓN	
		CONSTANTE ANTES DE LA SECCIÓN DE ENSAYO	MALLAS
Permite el desarrollo del perfil de velocidad.	1	2	1
Elimina turbulencia e inestabilidades del fluido	1	1	2
Perdidas en el sistema	1	2	0
Bajos costos de construcción	0	2	1
Facilidad de mantenimiento	0	2	1
Espacio requerido	2	0	1
Adaptaciones Simulación de Capa Limite	0	1	0
Resultado	5	10	6

Fuente: Autor

3.5.1 Mallas. Para el diseño óptimo de las mallas que se seleccionaron para la adecuación del flujo de entrada, se utilizaron los siguientes criterios:

- Se define una variable β , Porosidad de la malla, la cual está definida en función del diámetro del alambre y densidad de la malla así²⁵:

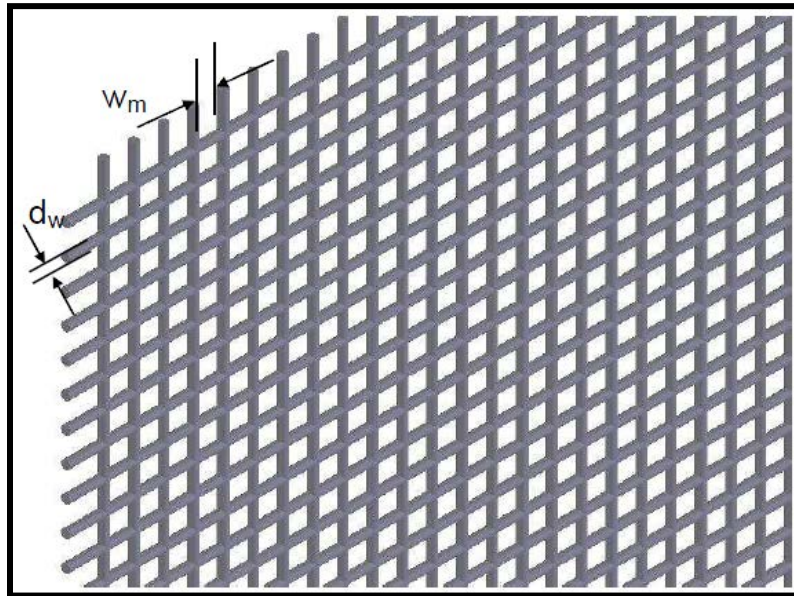
$$\beta = \left(1 - \frac{d_w}{w_m}\right)^2 \quad \text{Ecuación (12)}$$

En donde,

d_w = diámetro del alambre.

w_m = ancho de una celda de mayado.

Figura 26 Geometría y notación de las mallas



Fuente: Diseño de un túnel de viento para prueba de ventiladores, U. EAFIT

- Las mallas deben tener un valor de porosidad, el cual permita reducir las turbulencias del flujo que puedan conservarse hasta la sección de ensayos²⁶:

²⁵ Design rules for small low speed wind tunnels, Mehta, R.D Bradshaw, Aeronautical Journal, 1979

²⁶ Ibíd.

$$0.5 \leq \beta \leq 0.8 \quad \text{Ecuación (13)}$$

- La recomendación para túneles de viento en el número de mallas es de 3 a 7, las cuales deben estar separadas a una distancia de aproximadamente 250 veces el tamaño de la celda, con lo cual se debe reducir el nivel de turbulencia deseada y minimizar los efectos de capa límite²⁷.
- Las dimensiones de la sección transversal de las mallas y la sección en donde se ubican, está en función de la sección de contracción, así:

$$a_2 = a_3 \quad \text{Ecuación (14)}$$

- Las mallas deben estar separadas a una distancia mínima de $500 d_w$ y la distancia entre la última malla y la contracción debe ser de al menos 0.2 el ancho de la sección transversal de la malla (a_3)²⁸.

Con base en estos criterios se seleccionó un arreglo de tres (3) mallas de 2450mm x 2450mm, se aclara que una cantidad mayor de mallas solo son necesarias cuando tenemos configuraciones de tipo cerrado o generadores de flujo aguas arriba de la sección de ensayo. Para efectos de su construcción se seleccionó una lámina perforada calibre 20 ($d_w=0.9\text{mm}$) en acero inoxidable, la cual proporciona las características de rigidez necesaria para su aplicación.

Para el cálculo del ancho de la celda, se supone un valor de $\beta = 0.65$

$$0.65 = \left(1 - \frac{0,9 \text{ mm}}{W_m}\right)^2$$

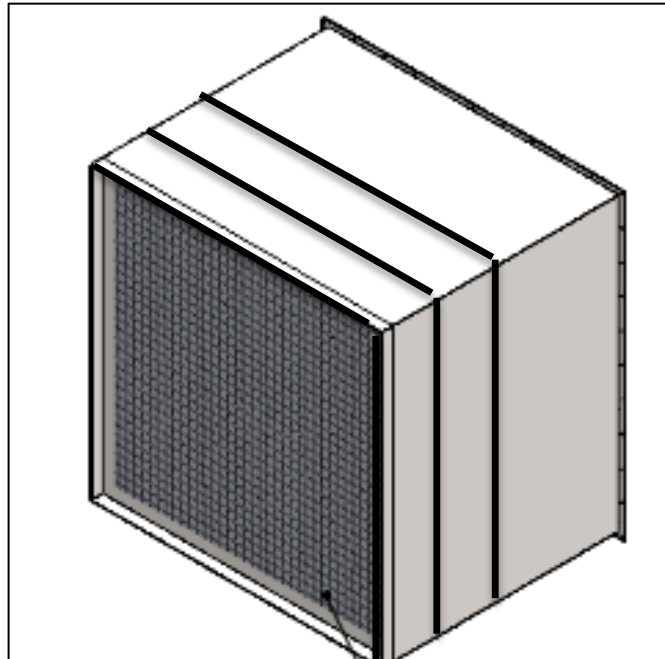
²⁷ Flow quality issues for large wind tunnels, Reshotko, 1997

²⁸ Modificaciones al túnel de viento del LABINTHAP para mediciones de velocidad de aire desde 5 m/s hasta 30 m/s, René Tolentino E, Octubre de 2004

$$W_m = 4,8 \text{ mm}$$

Las mallas se diseñan soldadas a una sección de 2450mm x 2450mm x 1000mm de acero comercial HOT ROLLED calibre 12, la cual, se unirá a la sección de contracción. La distancia entre mallas es de 450 mm y la última malla se ubicara 400mm antes de la contracción con el fin de evitar perturbaciones en la entrada del flujo. Ver Figura 27

Figura 27 Sección de entrada (Mallas)

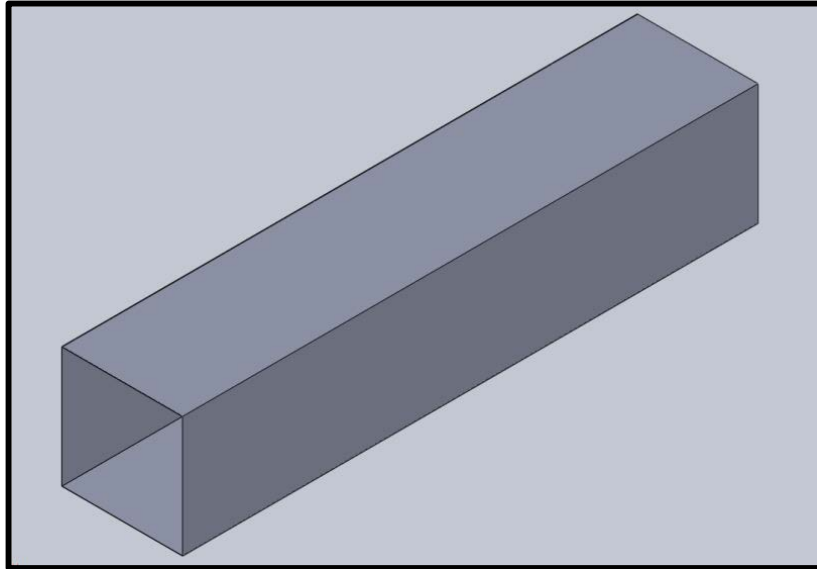


Fuente: Autor

3.5.2 Sección para desarrollo de flujo. Para obtener una mayor área efectiva de trabajo en relación a la velocidad del flujo en la sección de ensayo, se consideró la instalación de una sección de área constante que inicia a la salida de la sección de contracción y finaliza a la entrada de la sección de pruebas. Para esto se toma como referencia del libro de ASHRAE, el cual recomienda una longitud de mínimo

5 diámetros hidráulicos de sección constante antes de los ensayos para obtener mediciones confiables de velocidad²⁹.

Figura 28 Sección de desarrollo de flujo



Fuente: Autor

De esta manera, se diseñó una sección constante de 5 diámetros hidráulicos de la sección de ensayos (Ver figura 28), el material seleccionado es acero comercial HOT ROLLED calibre 12. Este elemento será evaluado en la Sección 3.6, con el fin de posibles procesos de optimización.

Esta sección, estará conectada a la contracción y la sección de ensayos, por medio de 12 pernos a cada extremo, con el objeto de garantizar la hermeticidad en el sistema (las características de ensamble se pueden observar de manera clara en los planos de diseño)

²⁹ ASHRAE HVAC Fundamentals Handbook. ASHRAE. 1997

3.6 DISEÑO DEL DIFUSOR DE SALIDA

El diseño del difusor de salida es función de las dimensiones de la sección de ensayos, así como también se utilizaron los siguientes criterios y parámetros:

- Para evitar oscilaciones en la carga del generador de flujo y un aumento en las pérdidas de potencia, el ángulo de difusión (α) para la salida no debe ser mayor a $7^\circ 30'$.
- La longitud (L_4), el área de salida del difusor (A_4) y el diámetro de salida del difusor (d_4) se calculó, teniendo en cuenta el criterio de razón de área, R_A , para el cual se recomiendan valores de 2.5 hasta 6 y se define así³¹:

$$R_A = \frac{A_4}{A_1} \quad \text{Ecuación (15)}$$

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 * A_4}{\pi}} \quad \text{Ecuación (16)}$$

$$L_4 = \left(\frac{a_4 - a_1}{2} \right) * \left(\frac{1}{\tan \alpha} \right) \quad \text{Ecuación (17)}$$

- Se consideró una sección de área constante entre la salida de la sección de pruebas y la entrada del difusor, con el fin de minimizar las fluctuaciones que puede ocasionar el cambio de áreas, en las condiciones del fluido de entrada en la zona de ensayos. Para el cálculo de la longitud de esta sección (L_3), se recomienda utilizar entre 1 – 2 el diámetro hidráulico de la sección de ensayos³².

³⁰ Diseño de un túnel de viento ultra laminar de velocidad controlada, Universidad de Chile, 2001

³¹ El difusor y la tobera en un túnel de viento, R. Martínez, G.A.Patiño, Revista Colombiana de Física, Vol. 42, No. 3 de 2010.

³² Diseño de un túnel de viento ultra laminar de velocidad controlada, Universidad de Chile, 2001

De esta manera el difusor de salida se diseñó con base en estas consideraciones, las cuales fueron obtenidas de geometrías que han sido instaladas con resultados exitosos, así:

$$\alpha = 5^\circ$$

$$R_A = 3$$

$$L_3 = a_1 = 1050 \text{ mm}$$

Con estos datos se obtienen las dimensiones restantes, en base a las ecuaciones (15) y (16), así:

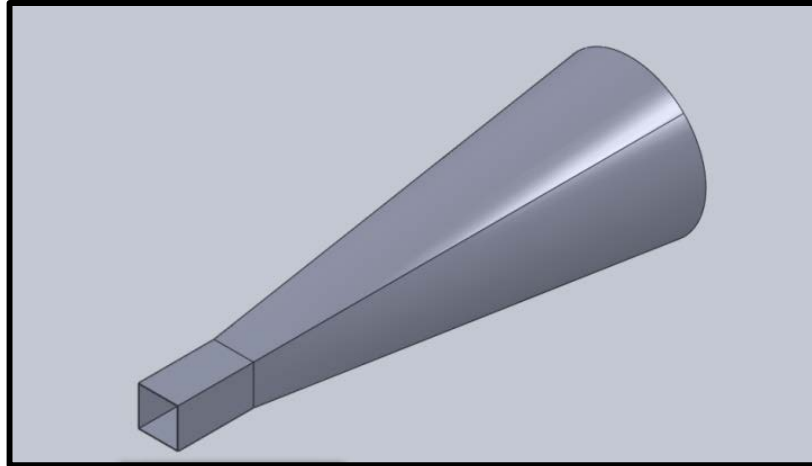
$$3 = \frac{A_4}{1.1 \text{ m}^2} \approx 3.3 \text{ m}^2$$

$$d_4 = \sqrt{\frac{4 * 3.3 \text{ m}^2}{\pi}} \approx 2.05 \text{ m}$$

$$L_4 = \left(\frac{2.05 \text{ m} - 1.05 \text{ m}}{2} \right) * \left(\frac{1}{\tan 5} \right) \approx 5.74 \text{ m}$$

El material del difusor es acero Hot Rolled calibre 12, el cual provee buenas características de superficie, acabado y resistencia, que se ajustan a la necesidad de la instalación. La sección de área constante se consideró elemento aparte del difusor con objeto de simplificar la manufactura, pero se unirá con el difusor por medio de soldadura con el fin de crear una sola sección desmontable (Ver figura 29).

Figura 29 Difusor de salida



Fuente: Autor

3.7 SELECCIÓN DEL GENERADOR DE FLUJO

Como fue descrito en la sección 3.2 donde se definió el tipo de generador de flujo, se utilizó un ventilador de flujo axial, el cual fue elegido en base a los siguientes criterios fundamentales: caudal requerido y la presión de pérdidas total del sistema. Estos parámetros serán utilizados para obtener la referencia del ventilador, utilizando catálogos e información suministrada por fabricantes.

3.7.1 Caudal requerido. El caudal requerido por la sección de ensayos (Q_1), está definido en función de las dimensiones del área de la sección de ensayos (A_1) y la velocidad de aire máxima de ensayo (V_1), así:

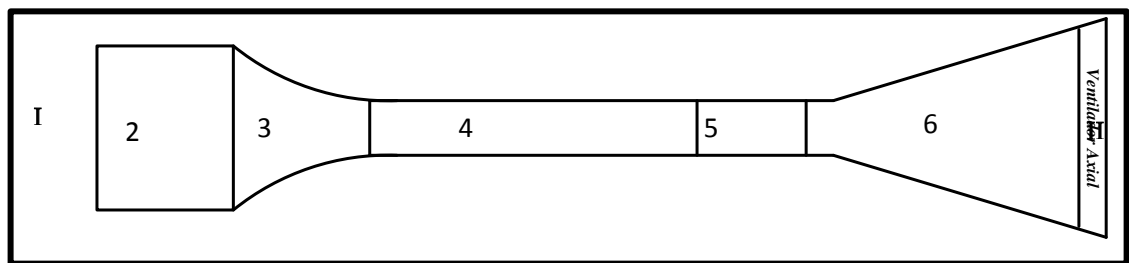
$$Q_1 = V_1 * A_1 \quad \text{Ecuación (18)}$$

Reemplazando $A_1 = 1.1 \text{ m}^2$ y $V_1 = 15 \text{ m/s}$, tenemos:

$$Q_1 = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 1.1 \text{ m}^2 = 16.5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

3.7.2 Pérdidas de presión. Este valor corresponde a las pérdidas de presión del sistema que afectan al ventilador en su funcionamiento. Esta magnitud se calculó, considerando las condiciones críticas de velocidad, que traducen un valor máximo de pérdidas de presión. Para obtenerlas se utiliza la ecuación de Bernoulli³³, que describe el comportamiento mecánico del aire moviéndose a lo largo de la instalación diseñada.

Figura 30 Secciones consideradas para utilización de la ecuación de Bernoulli.



Fuente: Autor

$$\frac{P_I}{\gamma} + Z_I + \frac{V_I^2}{2 \cdot g} + \frac{\Delta P_T}{\gamma} = \frac{P_{II}}{\gamma} + Z_{II} + \frac{V_{II}^2}{2 \cdot g} + \frac{\sum P_{1-6}}{\gamma} \quad \text{Ecuación (19)}$$

Donde,

ΔP_T : Presión de pérdidas total del sistema (Pa).

$P_{1,2}$: Presión en el punto (Pa).

$Z_{1,2}$: Nivel de altura. (Pa).

$V_{1,2}$: Velocidad en el punto. (m/s)

$\sum P_{1-6}$: Sumatoria de pérdidas de presión del sistema. (Pa)

³³ Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. Claudio Mataix. Segunda edición

γ : Peso Específico (N/m³).

g : Gravedad (m/s²).

Las alturas en la instalación se consideran iguales, la velocidad en el punto 1 se considera 0, y la presión en 1 y 2 es la presión atmosférica. Teniendo en cuenta lo anterior se obtiene una ecuación para el cálculo de la presión del ventilador así:

$$\frac{\Delta P_T}{\gamma} = \frac{V_{II}^2}{2 * g} + \frac{P_{1-6}}{\gamma} \quad \text{Ecuación (20)}$$

Las pérdidas de presión en el sistema, es la suma de las pérdidas de carga de cada sección.

$$\sum \Delta P_{1-6} = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_5 + \Delta P_6 \quad \text{Ecuación (21)}$$

Donde,

ΔP_1 : Perdidas por obstrucción del modelo. (Pa)

ΔP_2 : Perdidas en la sección de entrada. (Pa)

ΔP_3 : Perdidas en la sección de contracción. (Pa)

ΔP_4 : Perdidas en la sección de desarrollo de flujo. (Pa)

ΔP_5 : Perdidas en la sección de ensayos. (Pa)

ΔP_6 : Perdidas en el difusor de salida. (Pa)

De esta manera se realizaron los cálculos correspondientes para cada sección del banco experimental, así:

- **Sección de entrada (P₂).** Para el cálculo de pérdidas de la sección de entrada, se consideraron las pérdidas por fricción del ducto y las perdidas por las mallas. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\Delta P_2 = \Delta P_{2-1} + \Delta P_{2-2} + \Delta P_{2-3} \quad \text{Ecuación (22)}$$

Donde,

ΔP_{2-1} , Perdidas de energía debido a la fricción en el ducto, (Pa)

ΔP_{2-2} , Perdidas de energía debido a las mallas, (Pa)

ΔP_{2-3} , Perdidas de energía debido a la entrada del fluido, (Pa)

La pérdida de carga por fricción del ducto, se determinó en base a la siguiente ecuación:

$$\Delta P = h * \gamma \quad \text{Ecuación (23)}$$

Donde,

h , Altura de pérdidas de energía de la sección. (m)

γ , Peso específico del aire, (N/m³).

Para el cálculo del coeficiente de pérdidas por fricción de la sección, se utilizó la ecuación de pérdidas de DARCY - WEISBACH³⁴, así:

$$h_f = f * \frac{L * V^2}{D_h * 2g} \quad \text{Ecuación (24)}$$

Donde,

h_f , Perdidas de energía debido a la fricción, (m)

f , Factor de Fricción.

L , Longitud, (m)

D_h , diámetro hidráulico de la sección, (m)

V , velocidad media del fluido, (m/s)

El diámetro hidráulico de esta sección, se determinó utilizando la siguiente ecuación, que corresponde al diámetro hidráulico de una sección rectangular, así³⁵:

$$D_h = \frac{2*b*h}{b+h} \quad \text{Ecuación (25)}$$

Teniendo en cuenta que la sección transversal es cuadrada de lado (a), se concluyó que:

³⁴ Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. Claudio Mataix. Segunda edición

³⁵ Diseño de un túnel de viento para pruebas de ventiladores, Universidad EAFIT, 2008

$$D_h = \frac{2 * a * a}{a + a} = \frac{2 a^2}{2 a}$$

$$D_{h_2} = a = 2,45 \text{ m}$$

Para el cálculo de la velocidad en la sección de entrada, se utilizó la relación del caudal $Q = 16.5 \text{ m}^3/\text{s}$ y el área de la sección $A_2 = 2.45 \text{ m}^2$, así³⁶:

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación (26)}$$

$$V_2 = \frac{16.5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{2.45 \text{ m}^2} = 6.73 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El factor de fricción es un coeficiente adimensional de pérdidas de carga, que es función de dos variables adimensionales: el número de Reynolds y la rugosidad relativa. La relación de estas variables se exponen en el Diagrama de moody (ver anexo B.1), el cual representa la solución grafica a las ecuaciones de colebrook - White y poiseville, y de esta manera se puede determinar el factor de fricción para una aplicación determinada³⁷.

El número de Reynolds, es un factor adimensional utilizado para caracterizar el movimiento de un fluido y se calculó considerando la siguiente ecuación³⁸:

$$R_e = \frac{\rho * V * D}{\mu} \quad \text{Ecuación (27)}$$

Donde,

³⁶ Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. Claudio Mataix. Segunda edición

³⁷ Ibíd.

³⁸ Ibíd.

R_e , Numero de Reynolds de la sección.

ρ , Densidad del fluido; Aire: 1,18 (Kg / m³) a 25 °C

μ , viscosidad dinámica del fluido; Aire: 1,81 x 10⁻⁵ (Kg / m * s)

V , velocidad del fluido, (m / s)

D , Diámetro de la sección, (m)

Se determinó el número de Reynolds de la sección de entrada, así:

$$R_e = \frac{\rho * V_2 * D_{h3}}{\mu} = \frac{1,2 \frac{Kg}{m^3} * 6,73 \frac{m}{s} * 2,45 m}{1,81 * 10^{-5} \frac{Kg}{m * s}}$$

$$R_e = 1,04 x 10^6$$

La rugosidad relativa (ε), representa la relación entre la rugosidad absoluta (k) y el diámetro de la sección, caracterizando la variación media de la superficie interna de una tubería. Esta rugosidad relativa se determina relacionando la rugosidad absoluta y la longitud de la sección, así³⁹:

$$\varepsilon = \frac{k}{L} \quad \text{Ecuación (28)}$$

Considerando el material seleccionado (Acero nuevo), se obtuvo del diagrama de moody anexo (B.1) que la rugosidad absoluta es 0,05 mm.

Reemplazando en la ecuación (26), se tiene:

³⁹ Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas. Claudio Mataix. Segunda edición

$$\varepsilon = \frac{0,05 \text{ mm}}{2450 \text{ mm}} = 2 \times 10^{-5}$$

Luego, con los valores de rugosidad relativa y número de Reynolds, se obtuvo del Diagrama de moody, el valor correspondiente del factor de fricción:

$$f = 0,012$$

Reemplazando en la ecuación (23), conociendo $L_2 = 2 \text{ m}$, se obtiene:

$$h_{2-1} = f * \frac{L_2 * V_2}{D_{h_2} * 2g} = 0,012 * \frac{2 \text{ m} * \left(6,73 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2,45 \text{ m} * 2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{2-1} = 0,02 \text{ m}$$

Luego,

$$\Delta P_{2-1} = h_{2-1} * \gamma = 0,02 \text{ m} * 11,8 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta P_{3-1} = 0,3 \text{ Pa}$$

Para el cálculo de las pérdidas en las mallas, se determinó las pérdidas que genera una malla. Al ser de iguales características dimensionales, el resultado total de las pérdidas es de tres veces el calculado para una de ellas.

Las pérdidas generadas por una malla (P_m) se hallaron, en base a la siguiente ecuación⁴⁰:

⁴⁰ Diseño de un túnel de viento ultra laminar de velocidad controlada, Universidad de Chile, 2001

$$\Delta P_m = \left(\frac{K_m * V_3^2}{2 * g} \right) * \gamma \quad \text{Ecuación (29)}$$

En donde K_m , representa el coeficiente de pérdida de energía debido a una malla y se determinó con la siguiente ecuación⁴¹:

$$K_m = K_o * \sigma_s + \frac{\sigma_s}{\beta^2} \quad \text{Ecuación (30)}$$

Donde,

$$\sigma_s = 1 - \beta$$

Y, Si $0 \leq R_d \leq 400$

$$K_o = 0,785 \left(\frac{R_d}{241} + 1 \right)^{-4} + 1,01$$

Si $R_d \geq 400$

$$K_o = 1$$

Siendo R_d , el número de Reynolds basado en el diámetro del alambre de la malla ($d_w = 0,9 \text{ mm}$) y la velocidad del viento de la sección ($V_2 = 6,76 \frac{\text{m}}{\text{s}}$) y σ_s , la solidez de la malla, definida por la porosidad de la malla ($\beta = 0,65$) ver sección 3.3.1. De esta manera:

$$\sigma_s = 1 - \beta = 1 - 0,65$$

$$\sigma_s = 0,35$$

⁴¹ Diseño de un túnel de viento ultra laminar de velocidad controlada, Universidad de Chile, 2001

Para el número de Reynolds, se utilizó la ecuación (25) así:

$$R_d = \frac{\rho * V_2 * d_w}{\mu} = \frac{1,2 \frac{Kg}{m^3} * 6,73 \frac{m}{s} * 0,0009 m}{1,81 * 10^{-5} \frac{Kg}{m * s}}$$

$$R_d = 401$$

Si $R_d \geq 400$, entonces:

$$K_o = 1$$

Conocido el valor de R_d , σ_s y h_o , se calculó el coeficiente de pérdidas de energía de una malla reemplazando los valores en la ecuación (29), así:

$$K_m = 1 * 0,35 + \frac{0,35}{0,65^2}$$

$$K_m = 1,17$$

Ahora, reemplazamos los valores en la ecuación (28) y obtenemos:

$$\Delta P_m = \left[\frac{1,17 * \left(6,73 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,81 m/s^2} \right] * 11,8 \frac{N}{m^3}$$

$$\Delta P_m = 48,9 Pa$$

Luego, considerando que nuestra instalación consta de tres mallas, se calculó las pérdidas totales generadas por las mallas, así:

$$\Delta P_{2-2} = 3 * \Delta P_m = 146,7 Pa$$

El cálculo de las pérdidas asociadas a la entrada del aire al ducto, se determinó utilizando la ecuación (28):

$$\Delta P_{2-3} = \left(\frac{K_{2-3} * V_2^2}{2 * g} \right) * \gamma$$

En donde, K_{2-3} representa el coeficiente de pérdidas por la entrada del fluido y cuyo valor es definido por CRANE, para entradas a tope y radio de curvatura 0 en:

$$K_{2-3} = 0,5$$

Entonces:

$$\Delta P_{2-3} = \left[\frac{0,5 * \left(6,73 \frac{m}{s} \right)^2}{2 * 9,81 m/s^2} \right] * 11,8 \frac{N}{m^3}$$

$$\Delta P_{2-3} = 14 Pa$$

Ahora se reemplazan los valores de P_{2-3} , P_{2-2} y P_{2-1} en la ecuación (21) y se obtuvo el valor total de pérdidas en la entrada de la instalación (P_2), así:

$$\Delta P_2 = 0,3 Pa + 146,7 Pa + 14 Pa$$

$$\Delta P_2 = 161 Pa$$

- **Sección de contracción (P₃).** Para el cálculo de las pérdidas en la sección de contracción, solo se consideraron las pérdidas friccionales, y se utilizó la ecuación⁴²:

$$\Delta P_3 = \left(\frac{K_3 * V_3^2}{2 * g} \right) * \gamma \quad \text{Ecuación (31)}$$

V_3 , Velocidad en la sección de ensayos, $V_3 = 15 \frac{m}{s}$

K_3 , corresponde al coeficiente de pérdidas de la sección de contracción y es determinado considerando la siguiente ecuación⁴³:

$$K_3 = 0.32 * f_{2-4} * \left(\frac{L_4}{D_1} \right) \quad \text{Ecuación (32)}$$

Donde,

L_4 , Longitud de la contracción. $L_4 = 2,015 \text{ m}$

D_1 , Diámetro de la sección de ensayo. $D_1 = 1,05 \text{ m}$

f_{1-3} , Factor de fricción promedio entre la sección de pruebas y la sección de entrada. Considerando que los factores de fricción calculados para las secciones de entrada y ensayo son iguales, debido a que el número de Reynolds y la rugosidad relativa son iguales, el factor de fricción de la contracción es de igual magnitud. Así:

$$f_{1-3} = f = 0,012$$

⁴² Diseño de un túnel de viento para pruebas de ventiladores, Universidad EAFIT, 2008

⁴³ *Ibíd.*

Reemplazando los valores en la ecuación (31), tenemos:

$$K_3 = 0,32 * 0,07 * \left(\frac{2,015 \text{ m}}{1,05 \text{ m}} \right)$$

$$K_3 = 0,043$$

Ahora, reemplazando en la ecuación (30) tenemos:

$$\Delta P_3 = \left(\frac{K_3 * V_1^2}{2 * g} \right) * \gamma = \left(\frac{0,043 * \left(15 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) * 11,8 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta P_3 = 8,9 \text{ Pa}$$

- **Sección de desarrollo de flujo (P₄).** El cálculo de pérdidas de la sección de desarrollo de flujo, se realizó teniendo en cuenta la ecuación (22), así:

$$\Delta P_4 = h_4 * \gamma \quad \text{Ecuación (33)}$$

Donde,

h_4 , Coeficiente de pérdidas por fricción de la sección, el cual se determinó teniendo en cuenta la ecuación (23), así:

$$h_4 = f * \frac{L_4 * V_4^2}{D_{h_4} * 2g} \quad \text{Ecuación (34)}$$

Como el número de Reynolds y la rugosidad relativa son iguales que en la sección de entrada, se tomó el mismo valor del coeficiente de fricción ($f = 0,012$). Como el área transversal es del mismo tamaño que la sección de ensayos, la velocidad en

esta sección es igual ($V_4 = 15 \frac{m}{s}$) y el diámetro hidráulico se obtiene utilizando la ecuación (24), así:

$$D_{h_4} = a_4 = 1,05 \text{ m}$$

Estos valores se reemplazan en la ecuación (32), y obtenemos:

$$h_4 = 0,012 * \frac{5 \text{ m} * \left(15 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{1,05 \text{ m} * 2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$h_4 = 0,66 \text{ m}$$

Y utilizando la ecuación (31), tenemos:

$$\Delta P_4 = 0,66 \text{ m} * 11,81 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta P_4 = 7,8 \text{ Pa}$$

- **Sección de ensayos (P₅).** Para determinar las pérdidas de presión en la sección de ensayo se utilizó, el mismo procedimiento que para la sección de desarrollo de flujo, teniendo en cuenta que son geometrías transversales cuadradas del mismo ancho pero con longitud diferentes. Para efectos prácticos del cálculo se considera el material de la sección de ensayos igual al de la sección de desarrollo de flujo, y de esta manera utilizar el mismo factor de fricción. De esta manera los cálculos de pérdidas de la sección de ensayo fueron:

$$\Delta P_5 = h_5 * \gamma \quad \text{Ecuación (35)}$$

Donde,

h_5 , Coeficiente de pérdidas por fricción de la sección, el cual se determinó considerando la ecuación (23), así:

$$h_5 = f * \frac{L_5 * V_5^2}{D_{h_5} * 2g} \quad \text{Ecuación (36)}$$

Se consideró el mismo valor del coeficiente de fricción ($f = 0,012$). La velocidad en esta sección es igual ($V_5 = 15 \frac{m}{s}$) y el diámetro hidráulico se obtiene utilizando la ecuación (24), así:

$$D_{h_5} = a_5 = 1,05 \text{ m}$$

Estos valores se reemplazan en la ecuación (34), y obtenemos:

$$h_5 = 0,012 * \frac{2 \text{ m} * \left(15 \frac{m}{s}\right)^2}{1,05 \text{ m} * 2 * 9,81 \frac{m}{s}}$$

$$h_5 = 0,26 \text{ m}$$

Y utilizando la ecuación (33), tenemos:

$$\Delta P_5 = 0,26 \text{ m} * 11,81 \frac{N}{m^3}$$

$$\Delta P_5 = 3,1 \text{ Pa}$$

- **Difusor de salida.** En el cálculo de las pérdidas de carga en el difusor de salida (P_6), se consideró las pérdidas por fricción y por la expansión. Estas pérdidas se determinaron utilizando la siguiente ecuación⁴⁴:

$$\Delta P_6 = \left(\frac{K_6 * (V_6)^2}{2 * g} \right) * \gamma \quad \text{Ecuación (37)}$$

Donde,

V_6 , Velocidad en la sección de ensayos, $V_6 = 15 \frac{m}{s}$

Para el cálculo del coeficiente de pérdidas del difusor de salida (K_6), se utilizó la siguiente ecuación⁴⁵:

$$K_6 = \left[\frac{f_6}{8 * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} + 0,6 * \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \left[1 - \frac{D_1^4}{D_2^4} \right] \quad \text{Ecuación (38)}$$

Donde,

α , ángulo de divergencia entre secciones, $\alpha=5^\circ$.

D_1 , Diámetro de entrada del difusor, $D_1= 1,05$ m

D_2 , Diámetro de salida del difusor, $D_2= 2,05$ m

f_6 , Factor de fricción, y se calculó utilizando la siguiente ecuación:

⁴⁴ El difusor y la tobera en un túnel de viento, R. Martínez, G.A.Patiño, Revista Colombiana de Física, Vol. 42, No. 3 de 2010.

⁴⁵ *Ibíd.*

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \sqrt{\frac{f_6}{4,8}} \quad \text{Ecuación (39)}$$

Como se conoce el valor del ángulo de divergencia, $\alpha=5^\circ$, se calculó el factor de fricción, así:

$$\tan\left(\frac{5}{2}\right) = \sqrt{\frac{f_6}{4,8}}$$

$$f_6 = 0,00915$$

Determinando el valor del coeficiente de fricción, se utilizó la ecuación (36):

$$K_6 = \left[\frac{0,00915}{8 * \tan\left(\frac{5}{2}\right)} + 0,6 * \tan\left(\frac{5}{2}\right) \right] \left[1 - \frac{(1,05 \text{ m})^4}{(2,05 \text{ m})^4} \right]$$

$$K_6 = 0,049$$

Con este valor, reemplazamos los valores en la ecuación (35) y calculamos P_6 , así:

$$\Delta P_6 = \left(\frac{0,049 * \left(15 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} \right) * 11,8 \text{ N/m}^3$$

$$\Delta P_6 = 6,2 \text{ Pa}$$

- **Perdidas por obstrucción del modelo.** Las pérdidas de energía que se consideran por la obstrucción del fluido por el aerogenerador, se determinaron así:

$$\Delta P_1 = \left[\frac{K_1 * (V_1)^2}{2 * g} \right] * \gamma \quad \text{Ecuación (40)}$$

Donde,

K_0 , Coeficiente de pérdidas por obstrucción del modelo, el cual se determinó en base a la ecuación (23), así⁴⁶:

$$K_1 = \frac{D}{\frac{1}{2} * \rho * V_1^2 * A_1} \quad \text{Ecuación (41)}$$

Donde,

D , Fuerza de arrastre en el modelo, (N)

V_1 , Velocidad del viento en la sección de ensayos. ($V_1 = 15 \frac{m}{s}$)

A_1 , Área transversal de la sección de ensayos. ($A_1 = 1.1 m^2$)

Para el cálculo de la fuerza de arrastre en el modelo, se consideró la siguiente ecuación:

$$D = \frac{V_a^2 * \rho * S * C_D}{2} \quad \text{Ecuación (42)}$$

Donde,

D = Fuerza de arrastre, (N)

V_a = Velocidad del viento, (m/s)

⁴⁶ Diseño de un túnel de viento para pruebas de ventiladores, Universidad EAFIT, 2008

S = Área aerodinámica, (m^2)

C_D = Coeficiente de arrastre.

ρ = Densidad del viento, (Kg/m^3)

Para obtener el valor de las magnitudes de las fuerzas de arrastre y sustentación, se supone una $\rho = 1.2 \text{ Kg / m}^3$, velocidad del aire, $V_a = 15 \text{ m / s}$, que corresponde al valor máximo determinado para los ensayos, el cual de acuerdo a la formula proporciona el valor crítico de la fuerza de arrastre.

El valor del coeficiente de sustentación del perfil fue tomado de la Tabla (11), que corresponde a los rangos de valores de coeficientes aerodinámicos para fuerzas aerodinámicas, donde se optó por la utilización del rango máximo ($C_D=1$), de tal manera que se logró obtener el máximo valor de la fuerza de arrastre, que a su vez genero el valor critico de pérdidas que debe ser calculado.

Tabla 10 Tabla de rangos de coeficientes aerodinámicos.

	Max.	Min
C_L	+4.0	-2.0
C_D	+1.0	-1.0
C_m	-1,0	+1,0

Fuente: Low-speed Wind Tunnel Testing, J.Barlow, W. Rae, A. Pope, Third Edition

Para el cálculo del área aerodinámica, se consideró la utilización del área efectiva crítica en la sección de ensayos, que está en función del diámetro del rotor (0.4 m) convenido en la Sección 3.1.2.

$$S = \pi * \phi_r^2 = \pi * (0.4 \text{ m})^2$$

$$S = 0.50 \text{ m}^2$$

Ahora utilizando los valores encontrados y la ecuación (39), calculamos la fuerza de arrastre, así:

$$D = \frac{\left(15 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 * 1,2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,50 \text{ m}^2 * 1}{2}$$

$$D = 67,5 \text{ N}$$

Con este valor de la fuerza de arrastre, se calcula el coeficiente de pérdidas con la ecuación (38), así:

$$K_1 = \frac{67,5 \text{ N}}{\frac{1}{2} * 1,2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \left(15 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 * 1,1 \text{ m}^2}$$

$$K_1 = 0,45$$

Luego, con la ecuación (37) obtenemos las pérdidas:

$$\Delta P_1 = \left[\frac{0,45 * \left(15 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right] * 11,8 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

$$\Delta P_1 = 61 \text{ Pa}$$

- **Presión de pérdidas total del ventilador (ΔP_T).** Determinados los valores de las pérdidas en cada sección de la instalación, se procede con la ecuación (20), a calcular el valor total de las pérdidas del sistema, así:

$$\sum \Delta P_{1-6} = 61 \text{ Pa} + 161 \text{ Pa} + 8,9 \text{ Pa} + 7,8 \text{ Pa} + 3,1 \text{ Pa} + 6,2 \text{ Pa}$$

$$\sum \Delta P_{1-6} = 248 \text{ Pa}$$

Utilizando la ecuación (19), se calculó la presión de cabeza del ventilador así:

$$\frac{\Delta P_T}{\gamma} = \frac{V_{II}^2}{2 * g} + \frac{\sum \Delta P_{1-6}}{\gamma}$$

Donde la velocidad a la salida V_{II} , se calculó utilizando la ecuación (25) considerando el caudal $Q = 16,5 \text{ m}^3/\text{s}$ y $A_3 = 3,3 \text{ m}^2$, así:

$$V_{II} = \frac{16.5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{3,3 \text{ m}^2} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Y calculamos ΔP_T , así:

$$\Delta P_T = 11,81 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * \frac{\left(5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 248 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_T = 263 \text{ Pa}$$

Para la selección del ventilador, se consideraron dos fabricantes de equipos de ventilación, los cuales ofrecen beneficios tales como:

- Relación costo/beneficio alta, la cual se mide en el costo de unidad de potencia.

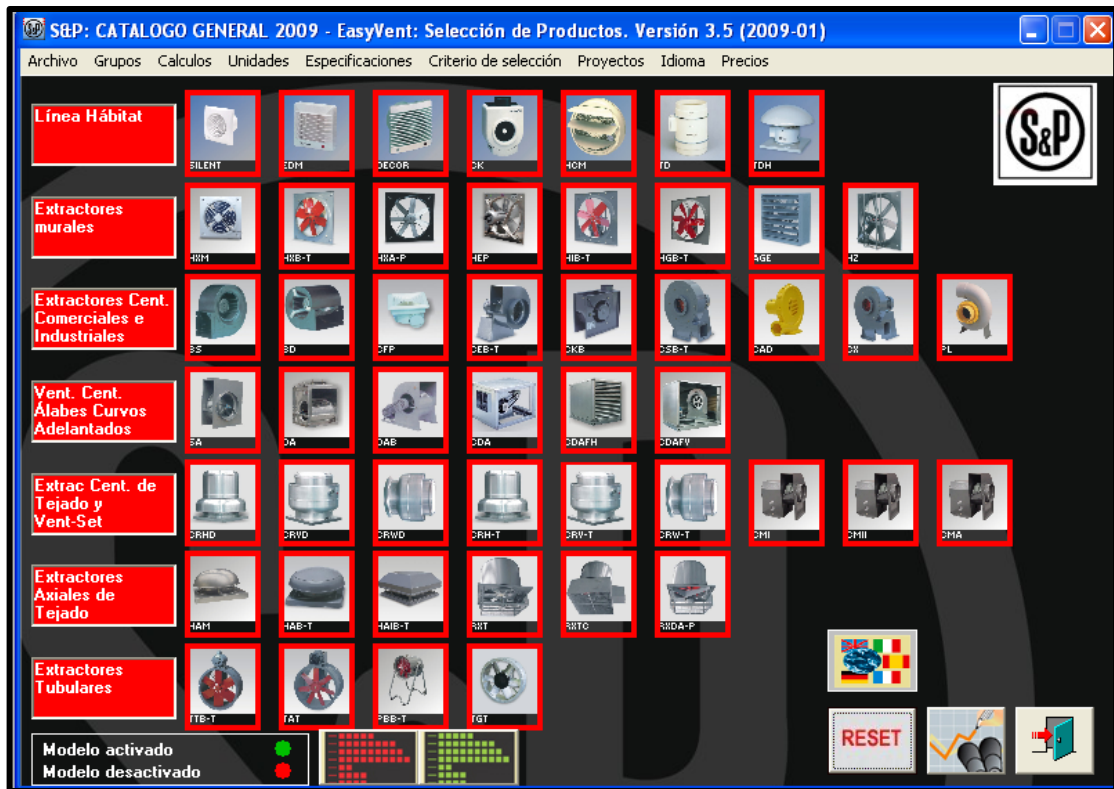
- Reconocimiento mundial y experiencia en el mercado, lo que proporciona confiabilidad en el equipo.
- Soporte de ventas y mantenimiento en la región.

De acuerdo a lo señalado, se seleccionaron los siguientes fabricantes:

- SOLER & PALAU
- GREENHECK
- **Soler & palau.** En la selección del ventilador con el fabricante SOLER & PALAU, se utilizó la herramienta informática online EASYVENT, proporcionada por el proveedor para la asistencia en la selección del ventilador.

En primera medida, el software solicita la selección del tipo de ventilador que se desea en la aplicación, mostrando el portafolio de productos (Ver figura 32)

Figura 32 Selección del tipo de ventilador. Software (Easyvent)



Fuente: Soler & Palau

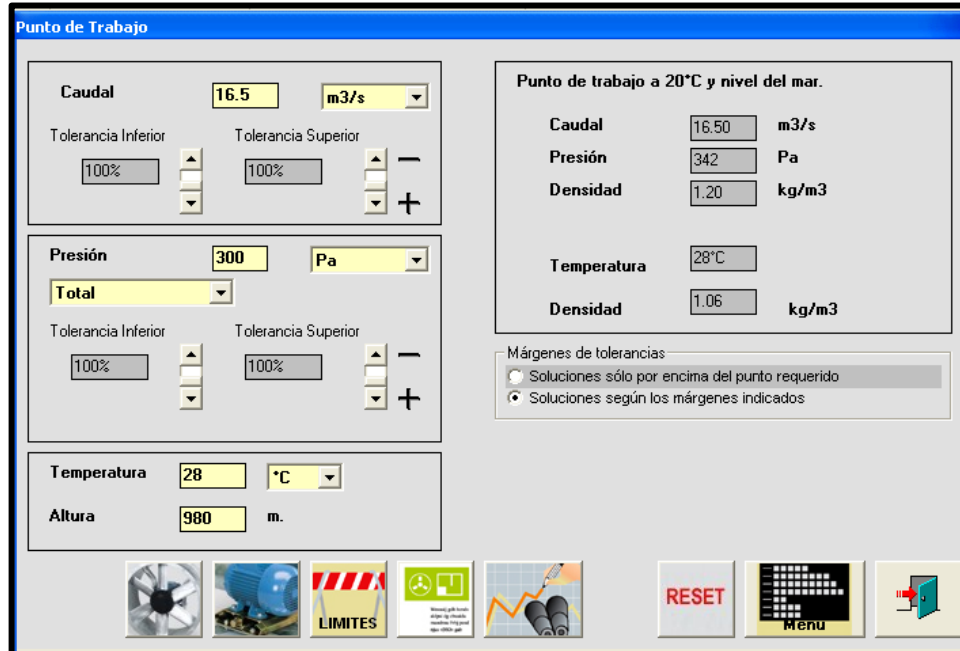
Luego se ingresaron las variables requeridas por el programa, de esta manera se crean los parámetros de selección y los factores de corrección que son considerados por el fabricante (Ver figura 33)

Las variables ingresadas fueron:

- Caudal: 16.5 m³/s
- Presión total: 300 Pa. (factor adicional de seguridad)
- Temperatura ambiente: 28°C

- Altura (0 =nivel del mar) : 980 m

Figura 33 Variables de entrada. Software (Easyvent)



Fuente: Soler & Palau

En base a las variables proporcionadas, el software genero la siguiente solución a los requerimientos:

- **TGT/4-1250-6/10-20HP-440V-60HZ**

El cual nos ofrece las siguientes características principales:

Tabla 11 Características ventilador S&P TGT

VENTILADOR AXIAL TGT/4-1250-6	
POTENCIA (HP)	20
RPM	1725
NUMERO DE PALAS	6
ANGULO	10°

VENTILADOR AXIAL TGT/4-1250-6	
TAMAÑO(mm)	1250
PRESION SONORA (dB)	94.6
PESO (Kg)	117
COSTO (\$)	8'522.275

Fuente: Autor

- **Greenheck.** En la selección del ventilador axial de este proveedor, se utilizó el método recomendado por el catalogo del fabricante, que propone los siguientes pasos:

Primero, debemos definir los parámetros de caudal, presión total del sistema y frecuencia:

$$Q = 16.5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\Delta P_T \approx 300 \text{ Pa (Considerando corrección por altura)}$$

Frecuencia: 60 Hz (Colombia)

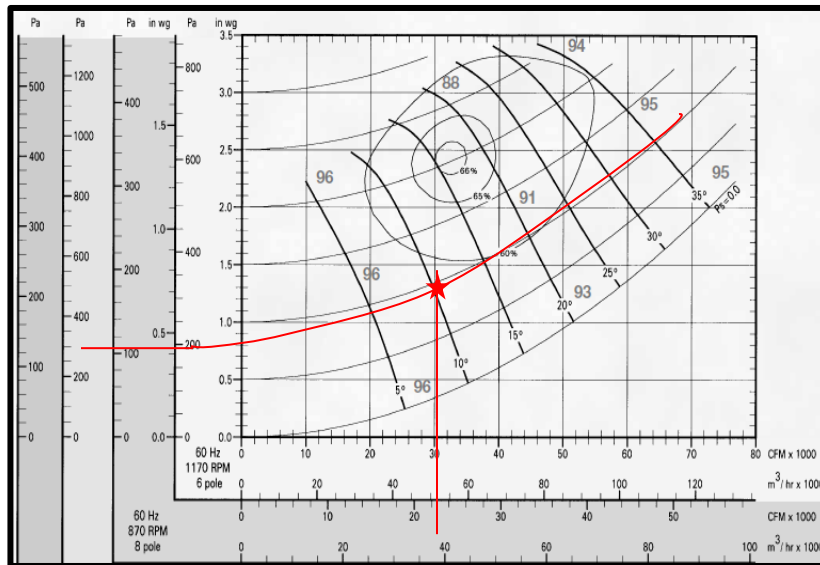
Con los valores definidos, se realizó un tanteo en las características de los ventiladores encontrados en el catálogo de ventiladores axiales de alto rendimiento de la GREENHECK. De esta manera, se identificaron los ventiladores que cumplen con los requerimientos exigidos.

Revisando las opciones que ofrece el portafolio de productos, se optó por la siguiente alternativa, siguiendo los siguientes pasos:

1. Se ubica la presión total (300 Pa) en el eje coordenado de la tabla, trazando una curva de forma similar a las curvas de presión constante que se muestran en la gráfica. (Ver figura 34)

2. Se ubica el caudal requerido y se traza una línea que intercepte la curva de presión constante de la presión.
3. Ubicado el punto requerido (estrella), ubicamos el ángulo de inclinación de aspa más cercano por arriba del punto de trabajo del sistema.

Figura 34 Curva de Bomba GREENHECK



Fuente: Catalogo GREENHECK

- **AX 123-533 8 Aspas**

Tabla 12 Características ventilador Greenheck

VENTILADOR AXIAL AX 123-533	
POTENCIA (HP)	17.3
RPM	1170
NUMERO DE ASPAS	8
ANGULO	15
TAMAÑO (mm)	1230
PRESION SONORA (dB)	91
PESO (Kg)	105
COSTO (\$)	12'362.485

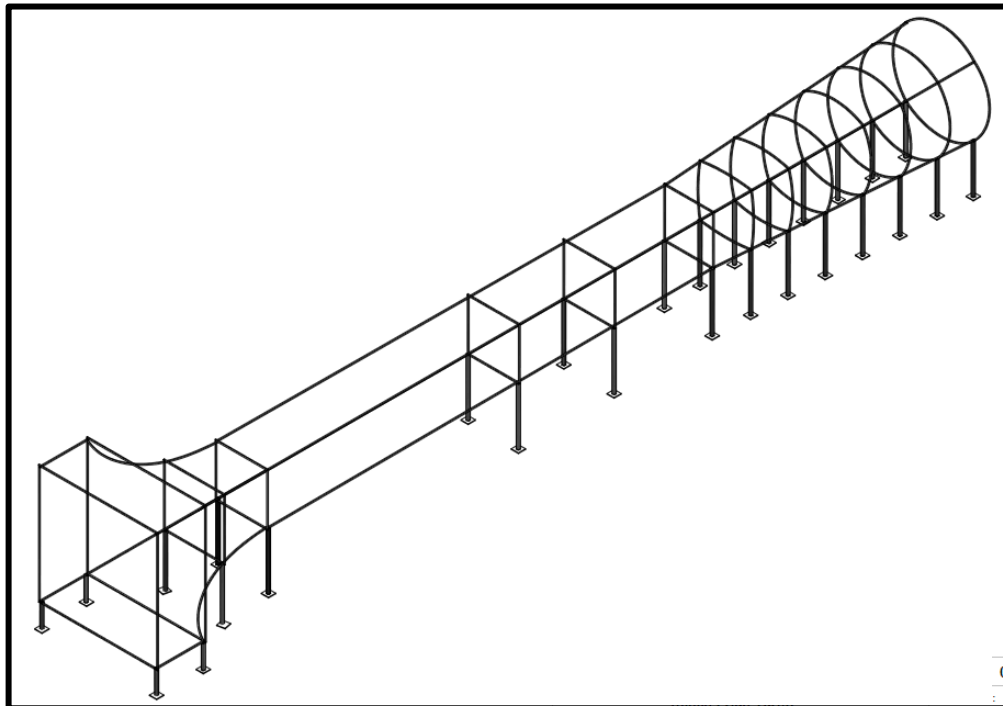
Fuente: Autor

Evaluando las características de las dos alternativas planteadas, se observa que el ventilador axial del fabricante SOLER & PALAU, proporciona mayor relación de costo/beneficios, debido a que el precio del equipo es un 30% más económico ofreciendo prestaciones similares. Por este hecho se seleccionó la opción del ventilador axial **TGT/4-1250-6/10-20HP-440V-60HZ**.

3.8 ESTRUCTURA DE SOPORTE

La estructura de soporte es la encargada de resistir el peso de la instalación, generador de flujo y equipos de instrumentación. La estructura seleccionada consta de 14 estructuras de soportes ubicadas en la instalación de la siguiente manera:

Figura 38 Estructura de Soporte



Fuente: Autor

Como se muestra en la Figura 38, el mayor número de soportes se emplean en el difusor de salida, ya que es ahí en donde se ubica el ventilador axial, que aparte de añadir un peso significativo (20 Kg), su funcionamiento genera vibraciones e inestabilidades.

Los soportes de la estructura se realizarán en tubería circular Schedule 40 (3.38 mm espesor) de 3'' de diámetro. Con lo que se proporcionará un alto factor de seguridad a la estructura y así proteger la integridad de los equipos de medición.

3.9 EVALUACION DE LA INSTALACION DISEÑADA

Por medio de herramienta de análisis (CAE), se realizó una simulación en donde se introdujo un volumen de viento máximo ajustado a la necesidad del proyecto ($16.5 \text{ m}^3/\text{s}$) en la instalación diseñada. Este flujo se ajustó a las condiciones del fenómeno, tales como, Reynolds, nivel de turbulencia del aire, densidad del aire y presión atmosférica (Ver Tabla 13).

El objetivo fue observar el comportamiento de la velocidad, densidad, temperatura y presión del volumen de aire en la instalación. Además de esto se logró observar el comportamiento de la variación de la velocidad en el área transversal de la sección de ensayo, lo que nos permitió concluir si la instalación logra cumplir con los requerimientos de área efectiva útil de ensayo, considerando que la velocidad no debe variar a lo largo y ancho de la sección transversal y de esta manera garantizar resultados confiables y certeros de los ensayos a realizar.

Tabla 13 Condiciones de Entrada de la simulación propuesta

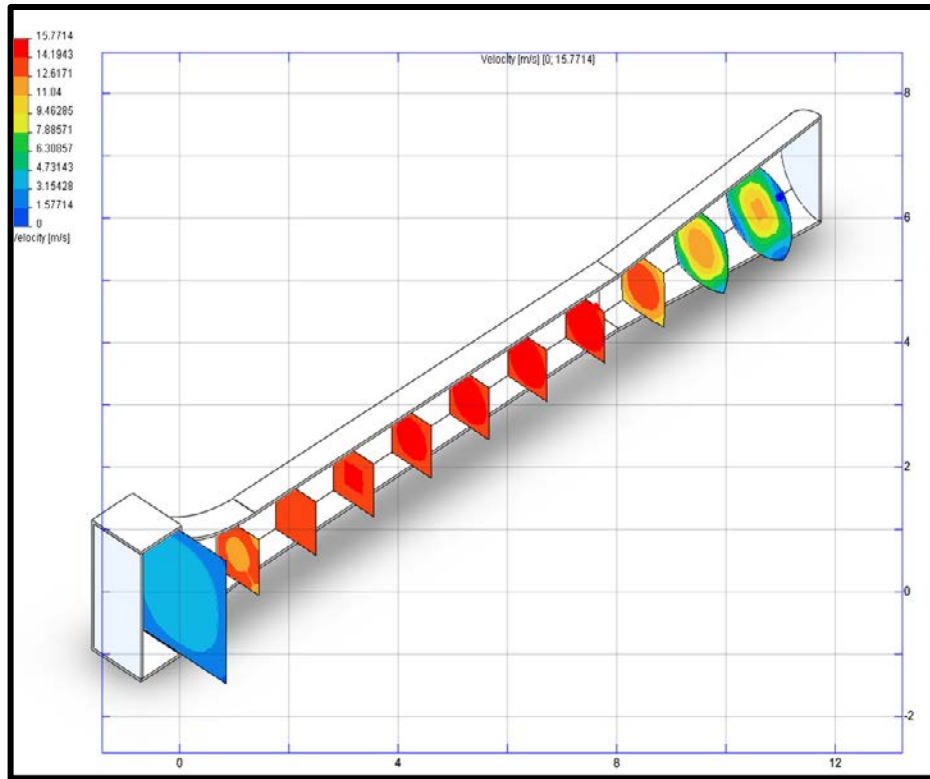
CONDICIONES DE ENTRADA		DESCRIPCIÓN
Parámetros Termodinámicos	Presión Atmosférica Base: 101325 Pa	Configurados a las condiciones ambientales base.
	Temperatura Base: 293.2 K	
Parámetros de Velocidad	Vector Velocidad	Se Consideró flujo de entrada Estacionario.
	Dirección en el eje X: 0 m/s	
	Dirección en el eje Y: 0 m/s	
Parámetro de Turbulencia ⁴⁷	Intensidad: 2 %	Factor de Turbulencia Máximo en este tipo de Instalaciones.
Parámetro de Capa Límite	Flujo Turbulento	Condición del flujo en la Instalación

Fuente: Autor

Como se observa en la figura 39, el código de colores e intensidad del mismo, permite establecer la variación y uniformidad de la velocidad en toda la trayectoria de la instalación diseñada. Por ejemplo; el color rojo permite ver el desarrollo de la región en donde se encuentra la velocidad máxima que se logra en la simulación. El color amarillo, permite observar la región donde se va desarrollando una velocidad entre la velocidad máxima encontrada en la instalación y la velocidad mínima. Y por último el color azul, describe la región de velocidad mínima y en donde esta tiende a llegar a cero.

⁴⁷ http://www.tecnica1.es/UserFiles/File/articulos/2010/27-marzo/tunel_de_viento.pdf

Figura 39 Simulación CAE del comportamiento del viento



Fuente: Autor

De la Figura 29 donde se muestra la variación de la velocidad a lo largo y ancho de la instalación, se concluyó que:

1. En la sección de acondicionamiento (primer recuadro), se manejan velocidades bajas (aproximadamente 3 m/s) como lo esperado, esto permite afirmar que las pérdidas en esta sección sean menores, debido a que la velocidad afecta de manera directa las pérdidas de presión y combinado con los altos coeficientes de pérdidas de las mallas producirían ineficiencia en el sistema, afectando directamente las dimensiones del generador.
2. La sección de contracción (segundo recuadro), muestra como el fluido se acelera antes de llegar a la zona de ensayo, mostrando que el fluido no sufre de grandes variaciones en su proceso de aceleración.

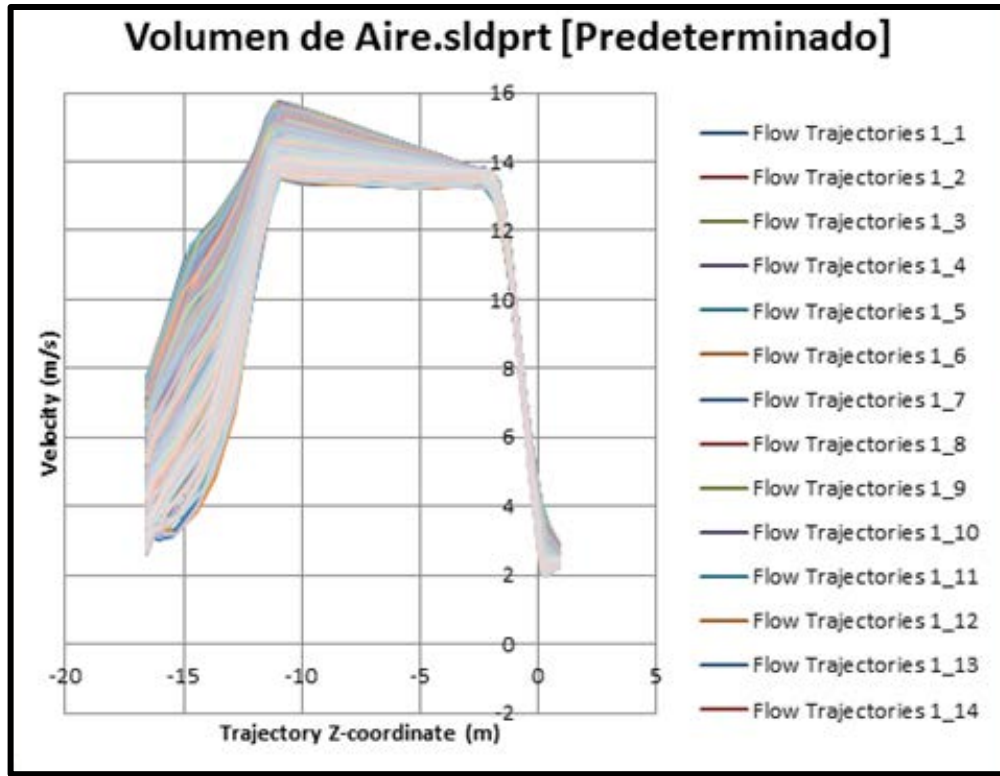
3. La sección de desarrollo de flujo (tercero al sexto recuadro), muestra como entra el fluido luego de la contracción, evidenciando la eficiencia de la geometría de la contracción que no permite mayores variaciones de velocidad a lo largo de la sección transversal. También muestra como el fluido va logrando estabilizar su velocidad de trabajo (15 m/s) en toda la sección transversal (círculos rojo intenso), lo que justifica la implementación de esta sección en el túnel, ya que aumenta el área de trabajo útil de ensayos.

4. En la sección de ensayos (séptimo recuadro), se aprecia la ganancia de área efectiva de trabajo que produjo la sección de desarrollo y a la vez se muestra la poca influencia de la capa límite en la disminución de dicha área, de esta manera se reafirma el uso de la sección de desarrollo.

5. En el difusor de salida (últimos recuadros), solo podemos concluir que el fluido pierde estabilidad al llegar a esta zona, ya que vemos una amplia variación de las velocidades a lo largo de su sección transversal, los resultados de la simulación en esta zona pueden no ser parecidos a la realidad, ya que no se considera el efecto que el aerogenerador induce al fluido aguas abajo de la sección de ensayos.

En la Figura 40, se muestra la gráfica del comportamiento de las trayectorias de flujo simuladas en diferentes puntos de la sección transversal de la instalación, en donde se evidencia la gran inestabilidad de la velocidad a la entrada de la instalación y la influencia de la contracción y la sección de desarrollo de flujo en el ajuste de la variación de la velocidad (± 1 m/s) a lo largo de la sección transversal de ensayo.

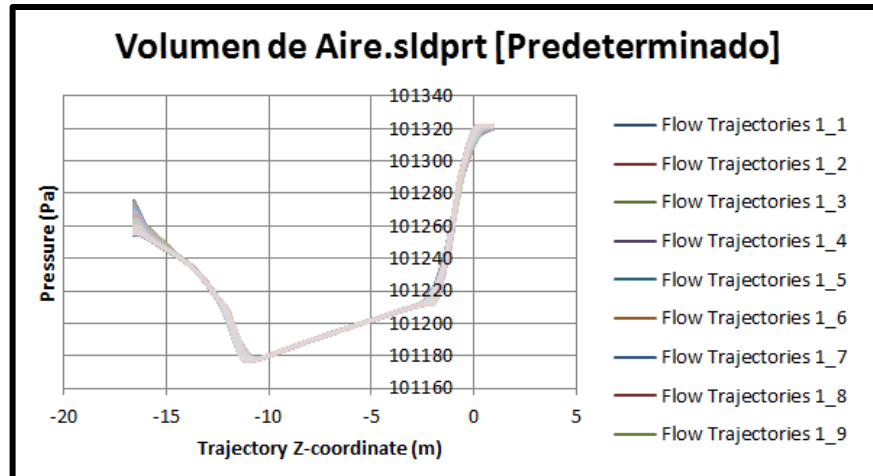
Figura 40 Grafica de velocidad de trayectorias de flujo en la instalación.



Fuente: Autor

En la Figura 41, podemos resaltar el comportamiento de la presión en el difusor de salida, ya que nos permite observar que el difusor logra una ganancia de presión, hecho que verifica la naturaleza de su función. A la vez podemos observar que las pérdidas ocasionadas por la contracción y los efectos friccionales son bajos, hecho que confirma los resultados obtenidos en el cálculo de las pérdidas del sistema.

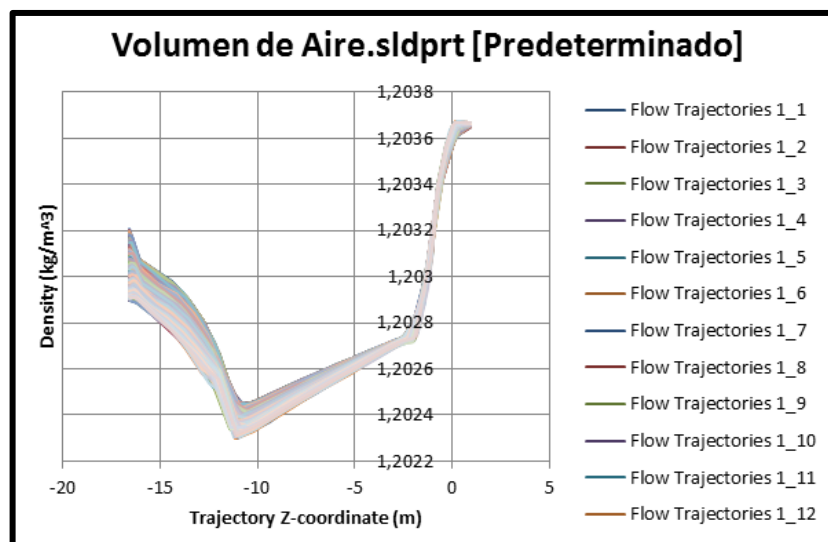
Figura 41 Grafica de presión de trayectorias de flujo en la instalación.



Fuente: Autor

La Figura 42, muestra la simulación de la magnitud densidad en toda la extensión de la instalación, como se observa esta no varía significativamente a lo largo de toda la instalación. Lo cual, permite afirmar que este valor que se obtenga de la medición de esta magnitud no va tener influencia negativa para evaluar y caracterizar el coeficiente eólico de los aerogeneradores.

Figura 42 Grafica de densidad de trayectorias de flujo en la instalación.



Fuente: Autor

4. SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACION

La selección de la instrumentación se realizó por medio de tres pasos:

Primero, se hace una selección de las magnitudes que se desean medir en la sección de ensayos, y que son de importancia para la caracterización de los aerogeneradores de baja potencia. Las magnitudes seleccionadas que incorporaran el sistema de medición son las siguientes:

- Velocidad de viento
- Fuerza de arrastre y sustentación
- Caída de presión del sistema antes de la sección de ensayo
- Temperatura del sistema
- Velocidad de rotación del eje del aerogenerador.

Seguidamente, se realiza la definición de cada una de las variables y/o magnitudes de influencia que se seleccionaron y se desean medir, para ello, se realizó un diagnóstico de las referencias principales que existen en el mercado para realizar cada una mediciones descritas anteriormente.

Luego de realizar la selección de las magnitudes que se desean medir, se hizo una revisión de las tecnologías principales utilizadas para medir cada una de estas magnitudes de influencia, teniendo en cuenta la tecnología más oportuna y necesaria para asegurar la confiabilidad en las mediciones que se requieren efectuar en la sección de ensayo para caracterizar los aerogeneradores de baja potencia.

Por último, se selecciona la mejor opción que cumpla con los requisitos de operación de la instalación en lo que respecta a; la tecnología de medición, sensibilidad y estabilidad del instrumento, exactitud del instrumento y rango de operación.

4.1 DEFINICIÓN DE LAS MAGNITUDES DE INFLUENCIA Y TECNOLOGIAS DE MEDICIÓN

4.1.1 Velocidad. La primera magnitud de influencia para describir el flujo en la sección de ensayos y que permitirá caracterizar los aerogeneradores es la velocidad del viento. La selección de la instrumentación se realizó a partir del planteamiento de tres alternativas viables para este tipo de instalación; el tubo pitot, anemómetro de paletas y el hilo caliente.

El Tubo Pitot, Este elemento se encarga de medir la presión total y la presión estática en un punto determinado en el sistema, lo cual, a partir de una sencilla formula permite obtener la velocidad en este punto.

$$V = K \sqrt{\frac{2 * \Delta P}{\rho}} \quad \text{Ecuación (44)}$$

Donde,

V: Velocidad puntual [m/s].

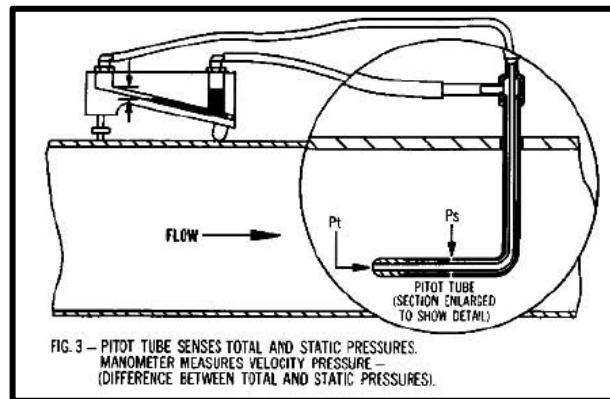
K: Coeficiente del tubo pitot, Se asume:

- K=1, para tubos pitot estándar
- K=0,84, para tubos pitot tipo L.

ΔP : Diferencial de presión obtenido en punto de medición seleccionado [Pa].

ρ ; Densidad del fluido [kg/m³]

Figura 43 Instalación de Tubo Pitot



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Tubo_Pitot

Anemómetro convencional. Poseen un rotor que gira a velocidad angular proporcional a la velocidad del fluido. El rotor es diseñado para extraer la mayor cantidad de energía del flujo, manteniendo la proporcionalidad y al igual que los demás anemómetros mecánicos, la simetría, el momento de inercia y la fricción en el eje de rotación son claves para el desempeño metrológico del instrumento.

Figura 44 Anemómetro convencional



Fuente: Catalogo virtual Focus

Anemómetro térmico o de hilo caliente, Lo que se mide en este tipo de instrumento es la disipación de calor desde un conductor metálico de diámetro muy pequeño, cuando es expuesto al viento. El conductor se integra en un circuito eléctrico por el cual circula corriente. Si se mantiene constante la temperatura del conductor, la corriente eléctrica es una función conocida de la velocidad del viento. Los anemómetros de hilo caliente se utilizan cuando se requiere una alta tasa de muestreo de la velocidad del viento (por ejemplo en mediciones de turbulencia del viento), este tipo de anemómetro posee una respuesta rápida y permite evaluar pequeños cambios de velocidad, por lo que es muy utilizado a nivel de investigación para evaluación de efectos de turbulencia. Sus desventajas radican en lo delicado que es el hilo, debido a sus pequeñas dimensiones, y la alta sensibilidad al material particulado, que puede contaminar el sensor, y generar desviaciones en su indicación.

Figura 45 Anemómetros de hilo caliente



Fuente: Catalogo virtual Dywer

Criterios de selección

- La primera situación que hace sensible la medición de velocidad, es el desalineamiento que puede existir entre el sensor y el flujo perpendicular.
- La segunda características de selección es la facilidad de instalación.

- La tercera característica de interés son las características de operación del instrumentos, tales como, exactitud de la medición, sensibilidad y estabilidad de la medición, Resolución del instrumento

Por ende se decidió que para el presente caso el instrumento más adecuado para medir la velocidad de viento es el anemómetro de hilo caliente, el cual, es de fácil acceso en el mercado y provee las siguientes características de operación.

Tabla 14 Características de anemómetro Hilo Caliente

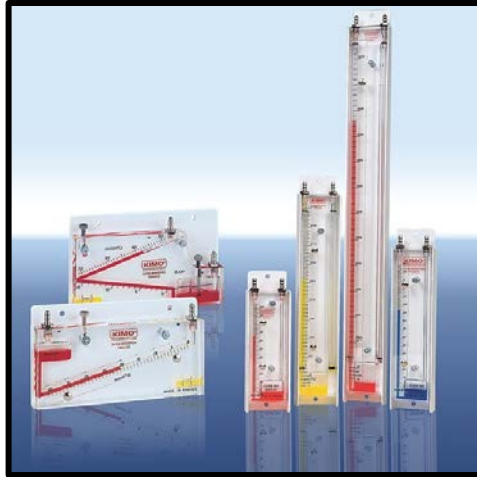
INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO	FABRICANTE	MODELO
Anemómetro de Hilo Caliente	<ul style="list-style-type: none"> • Exactitud: 3% De la lectura de la escala total. • Resolución: 0,01 • Tiempo de Respuesta: 15 s 	EE ELECTRONIK	VELOPORT 20

Fuente: Autor

4.1.1 Presión. La segunda magnitud que se desea conocer es la caída de presión en la sección de ensayos, para ello, se analizaron dos instrumentos utilizados para este tipo de aplicaciones académicas.

Manómetro de columna líquida, Es el más común en mediciones de presión en cualquier tipo de ensayo, el cual, permite obtener una medida directa de la presión en el punto de unión. Estos manómetros pueden ser utilizados como manómetros abiertos o como manómetros diferenciales. El fluido manométrico que forma la columna líquida en estos indicadores puede ser cualquier líquido que no se mezcle con el fluido a presión. Para altos vacíos o presiones elevadas y grandes diferencias de presión el líquido del medidor debe ser de una gran densidad por esto casi siempre se utiliza como fluido manométrico el mercurio y para las bajas presiones líquidos de menor densidad conocida.

Figura 46 Manómetros de columna líquida



Fuente: Catalogo virtual KIMO

Los manómetros abiertos dan lecturas en altura mm de mercurio o altura de fluido manométrico, luego para el cálculo de la presión manométrica del fluido se recurre a fórmulas como la siguiente:

$$D_a = \frac{(H_m * D_m - K * D_m) * G}{G_c} \quad \text{Ecuación (44)}$$

Dónde,

D_a : es la densidad del fluido A

D_m : es la densidad del mercurio

K : es la distancia entre el fluido manométrico y el fluido cuya presión se quiere averiguar.

G : es la aceleración local debida a la gravedad

Gc: es una constante adimensional

Transductor de presión, Los transductores de presión se utilizan para el control de sistemas de presión, como por ejemplo, una instalación de presión de aire. Tienen la facilidad de proveer como salida una señal normalizada, que permite conectar los transductores de presión a cualquier sistema de regulación, lo que ofrece al usuario un sin fin de posibilidades de uso.

Figura 47 Transductor de Presión



Fuente: Catalogo virtual PCE Group

Criterios de selección

- La primera característica de selección corresponde a la facilidad de instalación.
- El segundo criterio, es la viabilidad para comunicar a un Sistema de Adquisición de Datos.
- Y la tercera característica de interés son las características de operación del instrumento, que permitan proveer a la medición una buena exactitud y estabilidad.

Para el presente caso el instrumento más adecuado para cuantificar el diferencial de presión es un transductor de presión, con las siguientes características:

Tabla 15 Características de Transductor de Presión

INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO	FABRICANTE	MODELO
Transductor diferencial de Presión	<ul style="list-style-type: none"> • Exactitud: 0,5% De la escala total. • Estabilidad: 1% por año. • Resolución: 0,1 • Señal de Salida: 4 a 20 mA. • Tiempo de Respuesta: 1 a 5 s 	Dwyer	DHII-008

Fuente: Autor

4.1.3 Temperatura. La tercera magnitud asociada al sistema es la temperatura del medio (aire) en la sección de ensayos. Para leer la temperatura del fluido asociada al sistema se tuvieron en cuenta dos tipos de sensores, el primero es un **Termómetro de resistencia (RTD)** y el segundo es una **Termopar (termocupla)**.

RTD: Los termómetros de resistencia eléctrica se fundamentan en el principio de que la resistencia eléctrica de los materiales depende de la temperatura, y varía de modo casi lineal al valor de ésta.

Figura 48 Termómetro de resistencia



Fuente: Catalogo virtual Dwyer

Termocupla: Llamado técnicamente termopar, es un dispositivo para la medición de temperatura, basado en efectos termoeléctricos. Es un circuito formado por dos conductores de metales diferentes o aleaciones de metales diferentes, unidos en sus extremos y entre sus uniones existe una diferencia de temperatura, que origina una fuerza electromotriz proporcional a esta.

Figura 49 Termocupla



Fuente: Catalogo virtual Dywer

Criterios de selección

- La primera característica de selección corresponde a la facilidad de instalación.
- El sensor debe estar en contacto directo con el fluido, en este caso con el aire.
- El instrumento sensor de temperatura, debe poder comunicarse al sistema de adquisición de Datos seleccionado.
- Y por último se debe seleccionar un instrumento, que permitan proveer la medición con exactitud y estabilidad.

Para el presente caso el instrumento más adecuado para sensor la temperatura es una RTD, dispuesta de las siguientes características:

Tabla 16 Características de Trasmisor de Temperatura

INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO	FABRICANTE	MODELO
Transmisor de Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Exactitud: 0,3% De la escala total. • Linealidad: 0,25% de la escala calibrada. • Señal de Salida: 4 a 20 mA. • Rango de operación: 0 a 100°C 	Dwyer	Series 650-3

Fuente: Autor

4.1.4 Fuerzas de sustentación y arrastre. La balanza aerodinámica es un instrumento utilizado para la medición de las fuerzas y los momentos actuantes sobre un modelo sometido a la acción de corrientes de viento. A diferencia de las balanzas comunes, que sirven para medir fuerzas en una dirección conocida, las balanzas aerodinámicas deben medir no solo fuerzas aerodinámicas cuya resultante es desconocida sino que también medir momentos alrededor de ciertos ejes debido a esa resultante.

La principal característica de una balanza aerodinámica es la cantidad de componentes que se desean medir, que varían de uno a seis, dependiendo del ensayo que se quiere considerar.

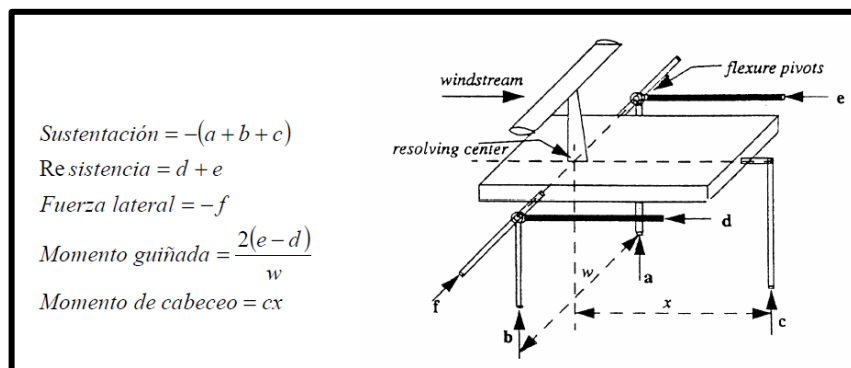
Las balanzas aerodinámicas pueden clasificarse en dos grupos, dependiendo de su localización en la instalación: Balanzas externas, ubicadas por fuera del modelo y la sección de ensayo y balanzas internas, ubicadas en el modelo o sus soportes.

- En las balanzas externas, la fuerza aerodinámica total y momentos son separados en sus componentes con la ayuda de varios sistemas mecánicos. Su diseño incluye por lo regular un dispositivo que cambie la actitud del modelo tanto como en ángulo de incidencia como en desplazamiento, proporcionando facilidad para modificar variables del ensayo. La desventaja de este tipo de balanzas es el relativo peso de sus elementos, lo que conlleva a una inercia tal que inhabilita estudios de corta duración.

El nexo entre el modelo y los dispositivos indicadores de las fuerzas aplicadas es la plataforma móvil o flotante, la cual permite separar la fuerza aerodinámica resultante actuante sobre el modelo en sus componentes. Las plataformas móviles más empleadas se resumen en tres grupos:

- Balanza de plataforma: utiliza tres o cuatro patas para soportar la estructura principal (Ver figura 50), el centro de resolución de la balanza no está sobre el modelo, por lo que el momento de cabeceo debe ser transferido del centro de la plataforma, al centro de giro del modelo.

Figura 50 Balanza aerodinámica tipo plataforma de tres patas.

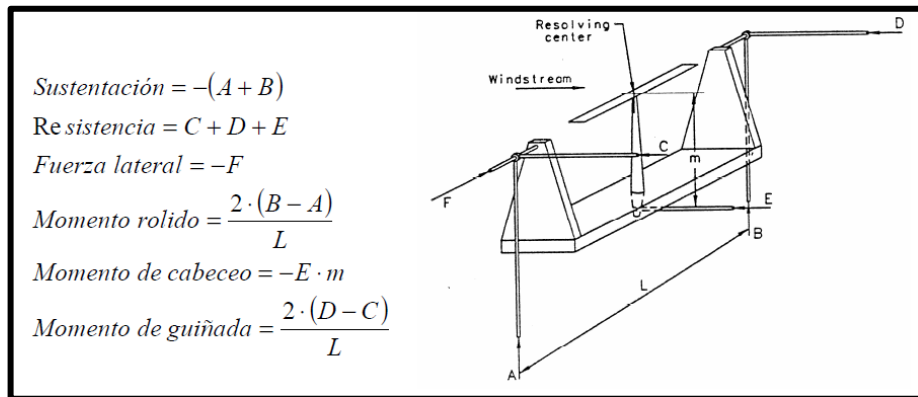


Fuente: Diseño de un túnel de viento para prueba de ventiladores, U. EAFIT

- Balanza de horquilla o yugo: presenta mayores ventajas frente a la de plataforma, ya que los momentos son leídos respecto del modelo, ya que el centro

de reducción esta sobre el mismo. Sin embargo, por sus características, conduce a mayores deformaciones que en el de plataforma, particularmente en el momento de cabeceo y la fuerza lateral. Ver figura 51

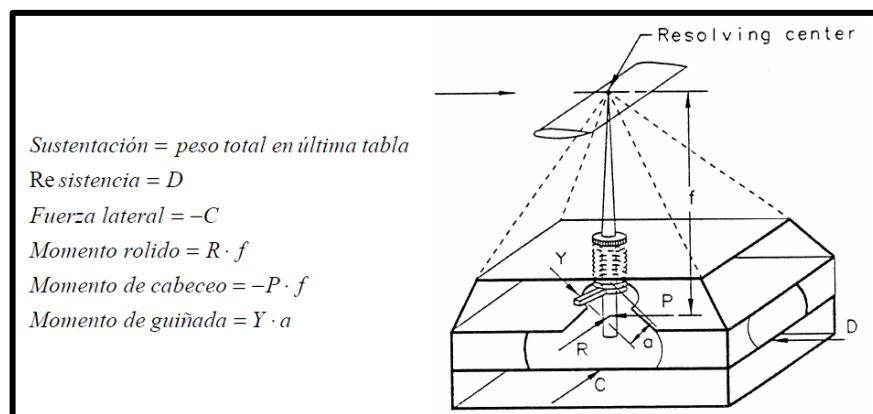
Figura 51 Balanza aerodinámica tipo horquilla o yugo



Fuente: Diseño de un túnel de viento para prueba de ventiladores, U. EAFIT

- Balanza Piramidal: su diseño permite que no tenga los inconvenientes que usualmente tienen las plataformas de plataforma y horquilla (ver figura 52). Entre sus ventajas podemos mencionar, la lectura de los momentos se realiza alrededor del centro de resolución (resolving center), las seis componentes son leídas de forma independiente y directa a través de seis unidades de medición.

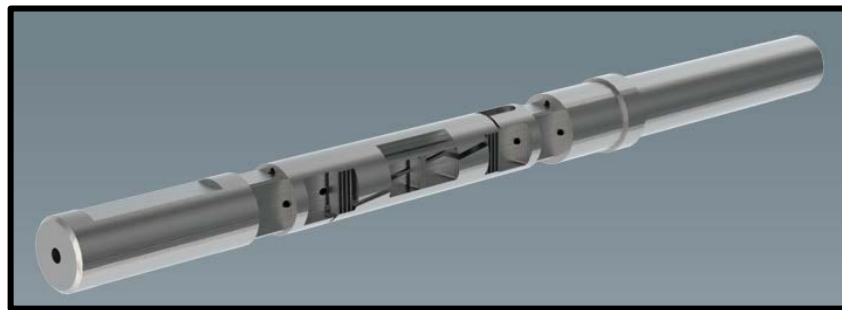
Figura 52 Balanza aerodinámica tipo piramidal



Fuente: Diseño de un túnel de viento para prueba de ventiladores, U. EAFIT

- En las balanzas internas, la medición se hace posible gracias al desarrollo de los strain gages o extensómetros. El método de medición de fuerzas por strain gages se basa en el uso de sistemas elásticos cuyas deformaciones son proporcionales a las cargas mecánicas, como son fuerzas y momentos. Estas deformaciones producen un cambio en la resistencia eléctrica que es medida por un instrumento conectado a un circuito de medición, así las cargas pueden medirse como magnitudes eléctricas con la ayuda de conversores apropiados, este conversor se denomina strain gages (ver figura 53). este tipo de balanza fue diseñada especialmente para ser implementadas en instalaciones de flujo supersónico ya que el dispositivo de medición va en unión al modelo y no a un soporte o plataforma flotante.

Figura 53 Balanza aerodinámica Interna



Fuente: Aerolab LLC

- **Selección.** Teniendo en cuenta los conceptos evaluados anteriormente, se escogió una balanza aerodinámica piramidal como instrumento de medición de las fuerzas de sustentación y arrastre, la cual será seleccionada considerando las magnitudes máximas de las fuerzas a medir, así como también las dimensiones apropiadas para que se acople de manera satisfactoria a la instalación diseñada.

Para el cálculo de las magnitudes de las fuerzas a medir, se definieron los conceptos de fuerza de sustentación y arrastre para un aerogenerador, así:

$$F_L = \frac{V_a^2 * \rho * S * C_L}{2} \quad \text{Ecuación (45)}$$

Donde,

F_L = Fuerza de sustentación, (N)

V_a = Velocidad del viento, (m/s)

S = Área proyectada del perfil, (m²)

C_L = Coeficiente de sustentación

C_D = Coeficiente de arrastre.

ρ = Densidad del viento, (Kg/m³)

Para obtener el valor de las magnitudes de las fuerzas de arrastre y sustentación, se supone una $\rho = 1.2 \text{ Kg / m}^3$, velocidad del aire, $V_a = 15 \text{ m / s}$, que corresponde al valor máximo determinado para los ensayos.

El valor del coeficiente de sustentación del perfil es tomado del perfil SG-6040. Se consideró este perfil teniendo en cuenta que presenta el coeficiente de mayor valor para perfiles de aerogeneradores de baja potencia⁴⁸, lo que representa para el estudio el máximo valor de fuerza a evaluar.

El perfil SG-6040 nos entrega las siguientes características:

- Coeficiente de sustentación, $C_L = 1.489$

⁴⁸ Análisis del Comportamiento Aerodinámico de Perfiles empleados en Aerogeneradores de Baja Potencia, Alejandro J. Carantoña O.

- Cuerda (c), es igual al diámetro del rotor.
- Grosor (x_p): representa el 16% de la cuerda del perfil.

Se consideró que el diámetro de rotor es igual a 0.42 m, que representa el valor del diámetro máximo del rotor encontrado en el estudio de la necesidad. Calculamos el área proyectada del perfil así:

$$x_p = 0.16 * c = 0.16 * 0.42 \text{ m}$$

$$x_p = 0.064 \text{ m}$$

$$S = x_p * c = 0.064 \text{ m} * 0.4 \text{ m}$$

$$S = 0.256 \text{ m}^2$$

Ahora utilizando los valores encontrados y la ecuación (45), calculamos la fuerza de sustentación, así:

$$F_L = \frac{\left(15 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 * 1.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.256 \text{ m}^2 * 1.489}{2}$$

$$F_L \approx 52 \text{ N}$$

Para los aerogeneradores de baja potencia, la fuerza de sustentación siempre tendrá un valor mayor que la fuerza de arrastre, ya que de lo contrario el perfil no permitiría el movimiento del aerogenerador, hecho que contradice todos los propósitos para lo que se diseñó. Por esta razón se consideró que la fuerza de

arrastre mínima que debe medir la balanza no es mayor al valor de la fuerza de sustentación.

Otro factor influyente en la selección del equipo para medición de fuerzas, es la longitud útil del eje de balanza. Esta distancia debe ser por lo menos un medio de la altura de la sección de prueba, esto con el fin de ubicar el prototipo a escala en el centro de la sección de ensayo para así aprovechar el máximo de área efectiva de ensayo posible.

Con base a los criterios planteados, se seleccionó una balanza aerodinámica tipo piramidal marca AEROLAB, solo se tuvo en cuenta esta marca ya que cuenta con una amplia experiencia en el mercado de la instrumentación y construcción de túneles de viento, además de eso se suma la carencia de proveedores confiables que garanticen la adquisición de una herramienta que cumpla con las características de nuestras mediciones. AEROLAB, cuenta también con programas de capacitación para centros académicos en cuanto a la utilización de estos equipos, confirmando una vez más el respaldo y confianza de la empresa.

A continuación se muestran las características principales de la balanza seleccionada para nuestra aplicación.

Tabla 17 Características de balanza Aerodinámica

INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO	FABRICANTE	MODELO
Balanza Aerodinámica	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo Piramidal • Lift Load Limits (Sustentación) : 1334 N • Drag Load Limits (Arrastre) : 534 N • Pitching Moment : 149 N - m 	Aerolab	Large Pyramidal Balance

INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO	FABRICANTE	MODELO
	<ul style="list-style-type: none"> • Side Force: 778 N • Yawing Moment: 149 N – m • Rolling Moment: 149 N – m • Longitud del eje : 101.6 cm • Diámetro de eje: 2.54 cm 		

Fuente: Autor

De las características mencionadas, se concluye que las fuerzas de sustentación y arrastre máximas medibles en los ensayos, no represento un factor crítico en la selección, lo contrario de la longitud del eje, el cual represento el factor determinante en la selección. A pesar de que es posible adaptar mecanismos para aumentar esta longitud en balanzas aerodinámicas de menor capacidad, se decidió elegir esta referencia y de esta manera permitir flexibilidad en las mediciones de las fuerzas para cuando sea necesario utilizar el banco para pruebas físicas de otra naturaleza.

4.1.5 Velocidad de Rotación del eje del aerogenerador. La selección de un para evaluar el rendimiento del aerogenerador en relación a la velocidad de rotación del aerogenerador causada por la velocidad de impacto del viento.

El encoder, es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales. Estos impulsos generados de tipo angular o de tipo lineal, cuando es asociado a un husillo, las señales eléctricas de rotación son leídas mediante controles de adquisición de datos. Para el presente caso, el encoder debe tener una salida que le permita conectarse al sistema de adquisición de datos a seleccionar. A continuación se visualiza una serie de encoder, que suelen ser utilizados en aplicaciones con aerogeneradores.

Para la selección del encoder se tuvo en cuenta las siguientes características:

- Deben ser de fácil acceso en el mercado.
- Ser los adecuados a la aplicación (Es decir, deben ser de eje hueco para poder acoplar con el eje de los aerogeneradores)
- Tener una aceptable estabilidad (la rangeabilidad de los pulsos por revolución no debe ser variable),
- Tener una salida eléctrica que le permita ser conectado a un sistema de adquisición de datos con el fin de poder interpretar de manera eficiente los datos.

Tabla 18 Características de Encoder

INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO	FABRICANTE	MODELO
Encoder	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación; Generador de Pulsos • Resolución; De 15 a 5000ppr. • Temperatura; -40 a 100°C. • Estilo de Acople; Eje Hueco. • Diámetro de Eje; ½" a 1". • Formato de la Señal; Cuadratura. 	DYNAPAR	HSD 38

Fuente: Autor

4.2 EQUIPO PARA CONTROL DE VELOCIDAD DE VIENTO

Para el control del caudal de aire que succiona el ventilador axial, es necesaria la implementación de un instrumento que controle la frecuencia del ventilador, de esta manera se varía las rpm a las que gira el ventilador y así variamos el caudal succionado.

Un **variador de frecuencia** (siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive o bien AFD Adjustable Frequency Drive) es un sistema para el control de la

velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad. Los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA, microdrivers o inversores. Dado que el voltaje es variado a la vez que la frecuencia, a veces son llamados drivers VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia)⁴⁹.

Un convertidor de frecuencia puede variar la velocidad de un ventilador o una bomba, lo que permite obtener un control variable de caudal y presión. Además, adapta rápidamente la velocidad de un ventilador o de una bomba a las nuevas condiciones de caudal o presión del sistema.

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación:

$$\text{RPM} = \frac{120 \cdot f}{p} \quad \text{Ecuación (46)}$$

Donde

RPM = Revoluciones por minuto

f = frecuencia de suministro CA (Hercio)

p = Número de polos (adimensional)

⁴⁹ http://es.wikipedia.org/wiki/Variador_de_frecuencia

Las cantidades de polos más frecuentemente utilizadas en motores síncronos o en Motor asíncrono son 2, 4, 6 y 8 polos que, siguiendo la ecuación citada, resultarían en 3000 RPM, 1500 RPM, 1000 RPM y 750 RPM respectivamente para motores sincrónicos únicamente y a la frecuencia de 50 Hz. Dependiendo de la ubicación geográfica funciona en 50Hz o 60Hz.

A pesar de que disminuir las rpm del motor en un ventilador afecta la presión total disponible, una disminución de la velocidad del aire en la instalación reduce en la misma proporción las pérdidas del sistema. De esta manera podemos asegurar que al utilizar el variador de frecuencia, el ventilador será siempre capaz de vencer las pérdidas del sistema

Criterios de selección.

La selección de un variador de frecuencia depende básicamente de la potencia del motor, pero es importante que el equipo brinde ciertas características con el fin de optimizar su utilidad en la instalación, entre las más importantes:

- Salida analógica con intensidad de 4-20 mA, la cual se enlazara al sistema de adquisición de datos.
- Disponga de herramientas informáticas (Software) para PC, de fácil uso.
- Sea compatible en aplicaciones para ventiladores.
- Recomendado por el fabricante del ventilador.

Tabla 19 Características del variador de Frecuencia

INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO	FABRICANTE	MODELO
Variador de frecuencia	<ul style="list-style-type: none"> • Salida analógica (4-20mA) • Potencia del motor: 15 HP • Voltaje : 220V • Display grafico galardonado, 27 idiomas • Frecuencia de alimentación : 50-60 Hz 	Danfoss	VLT FC 102

Fuente: Autor

4.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS

Un sistema SAD puede definirse como: “Aplicación (hardware-software) especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores de control de producción”. Esta aplicación se interconecta al proceso por medio de redes de comunicación y presenta de manera gráfica el estado de las variables que intervienen en el proceso.

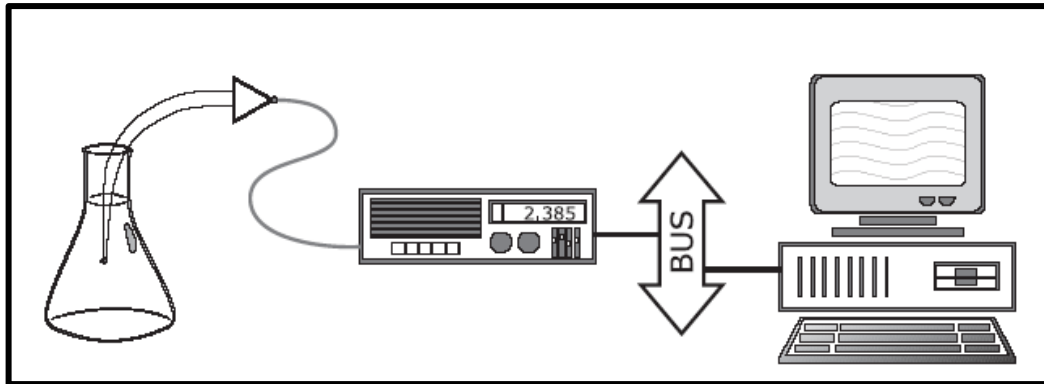
El SAD no puede considerarse como un sistema de control porque no cuenta con los elementos para ser clasificado en esta categoría, ya que, el objetivo del control en procesos, es mantener en determinado valor de operación las variables involucradas en un sistema determinado y generalmente los SAD no cuentan con las herramientas (actuadores) para intervenir sobre el proceso. Un SAD solo puede hacer un control de supervisión, el cual se limita a modificar ciertas condiciones del sistema como son arranque y/o paradas.

ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Los SAD están compuestos por un número de elementos que se dividen principalmente en:

- Hardware.
- Software.

Figura 54 Diagrama de Elementos de un SAD

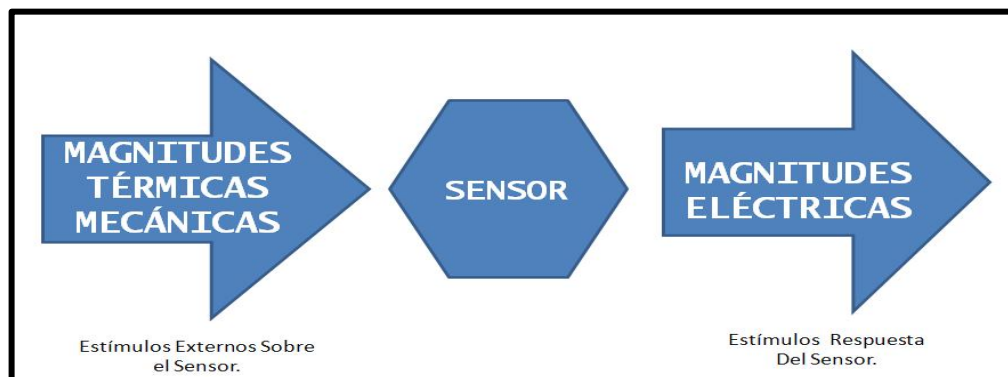


Fuente: Evaluación y selección del sistema de adquisición de datos para el laboratorio de mecánica de fluidos adscrito a la escuela de ingeniería mecánica.

HARDWARE

- a. **Sensores:** Se conoce como sensor, a todo dispositivo que puede convertir un estímulo físico, al cual es sensible, a una señal eléctrica.

Figura 55 Esquema E/S de un sensor



Fuente: Evaluación y selección del sistema de adquisición de datos para el laboratorio de mecánica de fluidos adscrito a la escuela de ingeniería mecánica.

Estos estímulos externos sobre los sensores reciben el nombre de señales, las cuales pueden ser: digitales y/o analógicas.

La señal digital es aquel tipo de estímulo que percibe el sensor de una manera discontinua en el tiempo, es decir en instantes. Cuando el estímulo externo sobre el sensor es continuo en el tiempo, se le conoce como señal analógica o análoga. De igual forma que con la señal digital, la respuesta del sensor es proporcional al estímulo externo, pero es continúa en el tiempo, así como lo es la perturbación externa. La mayoría de magnitudes que en la naturaleza se pueden medir son de carácter análogo.

Es bien importante analizar el tipo de salida o respuesta que el sensor emite en términos de voltaje o amperaje. Normalmente se utilizan aquellos con valores de 4 – 20 mA o de 0 – 5 V.

Adicionalmente, no podemos obviar el principio físico que rige el funcionamiento de este dispositivo, ya que, este aspecto permite una mejor selección de un sensor para determinada aplicación.

b. Acondicionamiento de Señal: El acondicionamiento de señal es un “pre-proceso” que se lleva a cabo en la señal de salida del sensor, cuando sus características, no permiten un buen trabajo de almacenamiento de datos. Dentro de las causas de amplificación más usuales, se encuentran: la señal de salida del sensor es muy baja es decir complicada de procesar y detectar, se requiere convertir la señal de corriente o frecuencia a voltaje, entre otras.

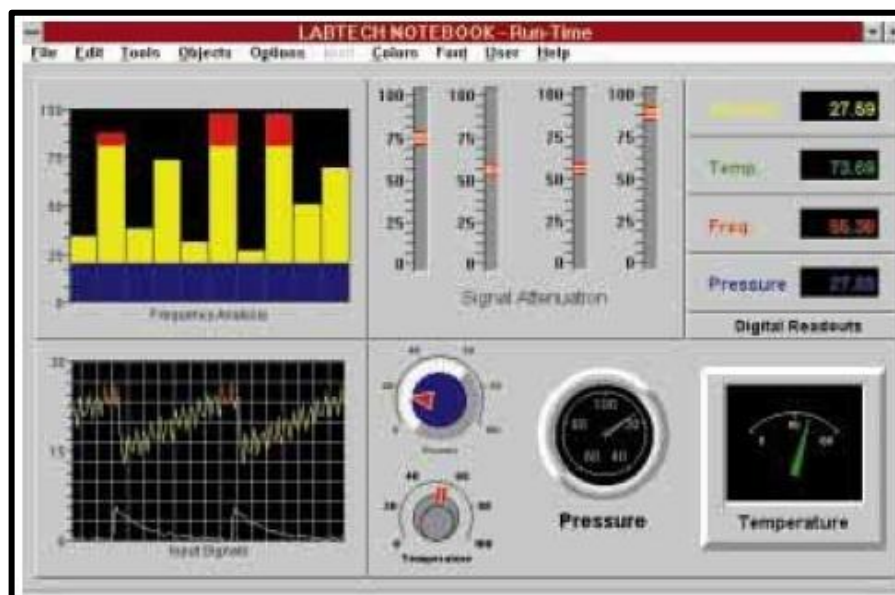
c. Registrador: Dispositivo que registra los valores obtenidos de los diferentes sensores a lo largo del tiempo del proceso. Normalmente son equipos pequeños de fácil transporte. Algunos por facilidad de aplicación traen secciones modulares para captar las señales. Sus formas comerciales pueden ser: tarjetas,

multiplexores, entre otros. Desde él se envían los datos al PC, en sistemas donde su configuración así lo prescriba, como en aplicaciones de laboratorio. En aplicaciones de campo se utilizan registradores de características más específicas conocidos como datalogger. En algunos casos estos registradores van acompañados de un controlador cuando el sistema requiere “control” a partir de los datos registrados en el proceso.

d. Bus de Comunicación o de Campo: Es el canal de comunicación a través del cual se comunica el registrador con el PC. Cada bus de campo tiene a su disposición un tipo de medio y protocolo propios. Como medio se conoce al canal por donde viajarán los datos desde el registrador al PC. Existen diversidad de medios: cable, ondas de radio, fibra óptica, entre otros.

SOFTWARE

Figura 56 Software de control LabTech



Fuente: Evaluación y selección del sistema de adquisición de datos para el laboratorio de mecánica de fluidos adscrito a la escuela de ingeniería mecánica.

Conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas que permitan desarrollar las aplicaciones (mímicos u esquemas del proceso) para desarrollar la actividad. Bajo la denominación de software SAD están incluidas todas aquellas operaciones como son: Adquisición, Registro, Monitorización de datos, detección y gestión de alarmas.

Existen dos tipos de software específicos:

1. Software de aplicación SAD: Es el software que se utiliza en el proceso de adquisición de datos. Un ejemplo de ello es el LabView de National Instruments. Aunque algunos proveedores dentro de este tipo de software, a nivel de venta de licencias, diferencian entre la licencia para desarrollar aplicaciones y licencias de solo ejecutables para algún ejercicio específico.
2. Software de configuración de hardware: Aquel cuyo objetivo es auxiliar en la puesta a punto de los diferentes dispositivos que componen el hardware. Step 7 es un programa desarrollado por Siemens cuyo objetivo es establecer las tareas de funcionamiento de un PLC, mediante una interfase con un computador personal, en una ejecución de Adquisición de datos.

SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS

El proceso de selección del sistema de adquisición de datos que se implementara en la instalación, plantea como primera medida la definición de las características relevantes de las variables a monitorear y de esta manera se podrá cuantificar las necesidades del proceso.

Tabla 20 Tabla de tipos de señales a monitorear

VARIABLES	TIPO DE SEÑAL
Presión	Analógica
Temperatura	Analógica
Velocidad del viento	N/A
Balanza Aerodinámica	Analógica x 6
Encoder	Analógica
Encendido y apagado	Digital
Alarma	Digital

Fuente: Autor

En busca de procesos que faciliten la selección de un SAD, que sea conveniente para las necesidades del proyecto, se consideró como fuente de información del tema, el proyecto de grado: “EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE FLUIDOS ADSCRITO A LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA⁵⁰”, en el cual se realizó un estudio detallado de los parámetros de selección más importantes a la hora de implementar un SAD, el cual puede ser adaptado a la necesidad del presente proyecto, ya que los requerimientos son similares para ambos casos (Variables).

En la tesis de grado mencionada anteriormente, se evaluaron tres propuestas de SAD de distintos fabricantes. Las propuestas en mención se describen a continuación

⁵⁰ Evaluación y selección del sistema de adquisición de datos para el laboratorio de mecánica de fluidos adscrito a la escuela de ingeniería mecánica. Hermes Samir franco cárdenas

PROPUESTA # 1 FABRICANTE: SIEMENS

Tabla 21 Propuesta # 1 Fabricante: Siemens

PROPUESTA # 1 FABRICANTE : SIEMENS	
DESCRIPCION	<ul style="list-style-type: none"> • CPU SIEMENS 224XP SIMATIC S7-200, ALIMENTACIÓN 110-220 VAC, 14 ED 24VDC/10 SD A RELE, 2 EA DE 0-10 VDC, 1 SA 0-10 VDC Y 4-20MA. 2XPPI. • MODULO DE AMPLIACIÓN • PARA CPU SIEMENS SIMATIC S7- 200 DE 4 ENTRADAS ANÁLOGAS. • INTERFASE DE COMUNICACIÓN Y PROGRAMACIÓN CP 5611 PROFIBUS. • SOFTWARE VISUALIZADOR RUNTIME DE 128 POWER TAGS. • CABLES Y CONECTORES.

PROPUESTA # 2 FABRICANTE: NATIONAL INSTRUMENTS

Tabla 22 Propuesta # 2 Fabricante: National Instruments

PROPUESTA # 2 FABRICANTE : NATIONAL INSTRUMENTS	
DESCRIPCION	<ul style="list-style-type: none"> • CFP-2000, LAB VIEW REAL TIME/ETHERNET NETWORK • CONTROLLER, 1 SERIAL PORT. • CFP-AI-110 8 CH,16 BIT • ANALOG INPUT MODULE (MA, MV, V) • CFP-RLY-425, RELAY OUTPUT MODULE (AC/DCSWITCHING),

PROPUESTA # 2 FABRICANTE : NATIONAL INSTRUMENTS	
8CH	
	<ul style="list-style-type: none"> • CFP-DI-300 DIGITAL INPUT MODULE 8 CH. • SOFTWARE LAB-VIEW (LICENCIA DEPARTAMENTAL)

PROPUESTA # 3 FABRICANTE: INTECH

Tabla 23 Propuesta # 3 Fabricante: Intech

PROPUESTA # 3 FABRICANTE : INTECH	
	<ul style="list-style-type: none"> • 2100-A16, RS 232 16 ENTRADAS ANALOGS CONFIGURABLES, 4 ENTRADAS DIGITALES, 2 SALIDA RELE, 2 SALIDAS ANALOGAS. • INTERFASE DE RED NODO ACTIVO.
DESCRIPCION	<ul style="list-style-type: none"> • INTERFASE DE RED NODO PASIVO • CONVERTIDOR INTERFASE RS232/RS 485-RS422. • T50, SOFTWARE - MODULO REGISTRADOR, MIMICO, SHIMADEN, DDE, MÁXIMO 150 I/O

Luego de realizada la descripción de los elementos de cada propuestas generada por cada fabricante para la implementación del SAD, se realizó una evaluación de los parámetros más importantes para la caracterización de un SAD. Esta evaluación fue resumida en la Tabla 24, en donde cada parámetro fue calificado por el autor en base a información proporcionada por el fabricante para cada una de estas variables en consideración

El resultado de la evaluación realizada en la Tabla 24, muestra a la propuesta #2 como la mejor. A pesar de su elevado costo, sus características tecnológicas

aventaja en grades proporciones las otras propuestas y permiten la implementación de un SAD flexible para realizar diferentes tipos de pruebas en el campo de la ingeniería.

Tabla 24 Tabla evaluativa para las tres propuestas

ÍTEM EVALUATIVO	PROPUESTA # 1	PROPUESTA # 2	PROPUESTA # 3
Manejo y Tipo de Señales (Digitales-Analógicas)	Y (126-30)	Y (64-64)	Y (8-32)
Frecuencia de Transmisión de datos (KHz)	Y (187.5)	Y (32000)	N (0.1)
Condiciones Ambientales de Trabajo	Y	Y	Y
Software Visualizador (Software especializado en túneles de viento)	N (NO)	Y (Aerolab)	N (NO)
Configuración (Software especializado para configuración)	N (Step 7)	Y (NO)	Y (NO)
Disponibilidad de Personal Capacitado	Y	Y	Y
Marca Reconocida Mundial y Localmente	Y	Y	N
Capacitaciones	N	Y	N
Costos (en miles de pesos)	Y (8000)	N (32000)	Y (14000)
Resultado⁵¹	6	8	5

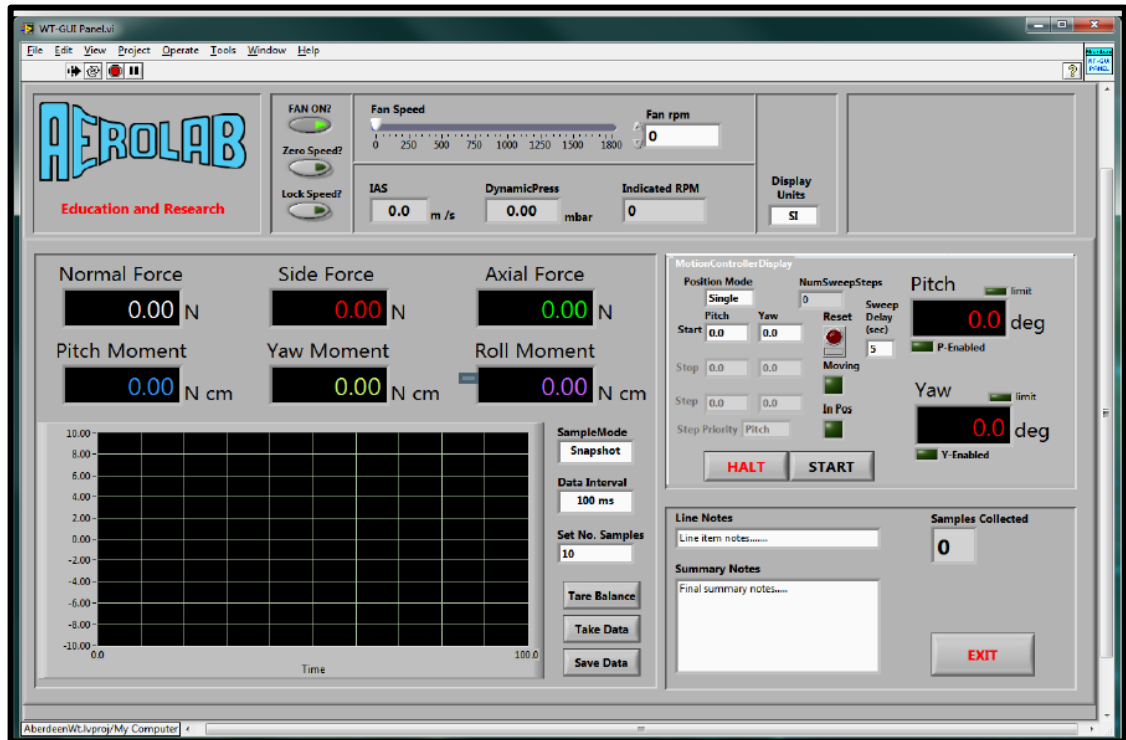
Fuente: Autor.

El factor de criterio más importante, radica en la compatibilidad que tiene el sistema de la propuesta #2 con la necesidad de esta instalación, hasta el punto de que la firma AEROLAB, diseño una interfaz personalizada en LabView, para

⁵¹ Y=Ventaja, N=desventaja; el resultado es la suma de las ventajas.

aplicaciones en túneles de viento, en donde se pueden controlar y monitorear las variables más importantes en ensayos aerodinámicos.

Figura 57 Software para túneles de viento



Fuente: Aerolab LLC

De esta manera podemos concluir que la propuesta #2, elaborada por National Instruments ofrece ventajas únicas en el control y adquisición de datos de este banco experimental y a pesar de su elevado costo inicial, sus extraordinarias características tecnológicas le permiten ofrecer una mayor versatilidad a tiempo futuro, lo que implica una menor devaluación de los productos adquiridos.

Cabe resaltar que el SAD, requiere de un computador que cumpla con los siguientes requerimientos:

Tabla 25 Software para túneles de viento

Windows		
	Run-Time Engine	Entorno de Desarrollo
Procesador	Pentium III/Celeron 866 MHz o equivalente	Pentium 4/M o equivalente
RAM	256 MB	1 GB
Resolución de Pantalla	1024 x 768 píxeles	1024 x 768 píxeles
Sistema Operativo	Windows 7/Vista/XP SP2/Windows Server 2003 R2 (32 bits)/Windows Server 2008 R2 (64 bits)	Windows 7/Vista/XP SP2/Windows Server 2003 R2 (32 bits)/Windows Server 2008 R2 (64 bits)
Espacio en Disco	340 MB	3.3 GB (Incluye controladores predeterminados del DVD de Controladores de Dispositivos de NI)

Fuente: Aerolab LLC

Para satisfacer esta necesidad, el banco experimental será dotado con una Laptop DELL Inspiron 15 serie 787802. (Ver características Anexo B.4)

5. COSTO DEL PROYECTO

En la siguiente tabla, se muestran los costos de construcción y equipamiento del banco experimental, los elementos que fueron cotizados en dólares, se liquidaron a una TRM 1.950

Tabla 26 Descripción del costo del proyecto.

DESCRIPCION	VALOR (Pesos)
Sección de entrada (solo ducto), Contracción, Desarrollo de flujo y Difusor de salida. (Material y mano de obra)	22.200.000
Sección de Ensayos	3.760.000
Mallas x 3	2.910.000
Estructura de Soporte	12.400.000
Ventilador Axial	8.522.275
Variador de Frecuencia	3.908.205
Balanza Aerodinámica	119.955.290
Transductor de Presión	955.500
Anemómetro de Hilo Caliente	793.650
Medidor de temperatura (RTD)	536.250
Encoder	635.000
Computador de mesa (Desktop)	999.000
Sistema de Adquisición de Datos	37.245.170
TOTAL	214.820.320

Fuente: Autor

6. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

Por medios de la utilización de programas CAE, se observó que el diseño de las secciones de acondicionamiento de flujo (mallas y desarrollo de flujo) y la sección de contracción fue exitoso, ya que se revela un comportamiento de la velocidad del fluido uniforme en la sección de ensayos.

Comparando los costos de construcción del presente proyecto con instalaciones experimentales de similares dimensiones, encontramos una disminución de costos de más de un 50%⁵² del valor neto, lo que nos confirma la viabilidad del proyecto.

El banco experimental fue diseñado para un rango de velocidades de viento en la sección de ensayos de 5-15 m/s, con lo cual se podrán caracterizar modelos a escala de aerogeneradores a condiciones operativas similares.

Del análisis económico, se puede observar que los costos mayores del proyecto se concentran en la instrumentación y el sistema de adquisición de datos necesarios para la medición y control de las variables a evaluar.

De acuerdo a los modelos de ventiladores axiales encontrados en el mercado, que cumplan con los requerimientos operativos propuestos en el proyecto, se afirma que la presión sonora es mayor a 90 dB en todos los casos, valor que resulta sustancialmente alto para aplicaciones donde exista presencia continua de personas. Teniendo en cuenta lo anterior, resulta necesario la implementación de secciones de aislamiento sonoro a la salida del ventilador o la implementación de protocolos de seguridad que incluyan elementos de protección auditivos para la utilización del banco.

⁵² Ver Cotización Anexo B.6

Gracias al diseño flexible de los elementos que componen el banco experimental, es posible la adaptación de diferentes tipos de pruebas para el estudio y caracterización de distintos fenómenos físicos e ingenieriles, ampliando aún más el rango de utilidad de la facilidad dentro de la comunidad estudiantil y el sector industrial.

El diseño realizado para la instalación, permite seccionar el banco en seis partes por separado, este hecho permite transportar fácilmente los elementos y realizar ajustes en cuanto a la ubicación de los mismos, así como también facilita las labores de mantenimiento y ajustes del banco.

El diseño y construcción de este tipo de herramientas tecnológicas, representa un avance por parte de la ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, en la consecución de proyectos para la optimización de mecanismos de obtención de energía limpia y a la vez un paso trascendental en el comienzo de estudios avanzados del comportamiento del aire en diferentes fenómenos de la ingeniería.

La consecución de proyectos de estas características, creara ambientes propicios para fomentar la creación de nuevos grupos de investigación en la universidad y a su vez beneficiara a estudios propuestos en el nuevo programa de Maestría de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Resulta apropiado, la realización de proyectos de grado que permitan el diseño y construcción de una balanza aerodinámica. De esta manera, se disminuirá sustancialmente los costos de instrumentación del proyecto y se realizara un aporte invaluable en el comienzo de estudios para el diseño de herramientas de medición.

BIBLIOGRAFIA

ACEVEDO, Felipe V. Diseño de un Túnel de Viento para Pruebas de Ventiladores y Perfiles Aerodinámicos. Tesis de Grado Ingeniero Mecánico. Medellín. Colombia. Universidad EAFIT.2006.170p

ANGARITA. Jair. Diseño y Construcción de una Instalación Para la Calibración de Medidores de Velocidad de Aire Utilizando como Patrón el Banco de Alto Caudal del CDT del Gas. Tesis de Grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga. Santander. Universidad Industrial de Santander. 2010. 142p

BARLOW, Jewel B. RAE, William H. POPE, Alan. Low speed Wind Tunnel Testing. Tercera Edición. Jhon Wiley & Sons, INC. New York. USA.1999. p273

CAMACHO, Jaime Alberto. Rector UIS. LINEAMIENTOS GESTIÓN RECTORAL 2006 – 2009. Bucaramanga, 11 de septiembre de 2006.

FERNANDEZ, Pedro. Energía Eólica. Santander. España. Universidad de Cantabria.2001.135p

FRANCO. Hermes S. Evaluación y Selección del Sistema de Adquisición de Datos para el Laboratorio de Mecánica de Fluidos Adscrito a la Escuela de Ingeniería Mecánica. Tesis de Grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga. Santander. Universidad Industrial de Santander.2007.154p

HINRICHSEN, Ricardo N. Diseño y Construcción de un Túnel De Viento Ultra Laminar de Velocidad Controlada. Tesis de Grado Ingeniero Mecánico. Santiago de Chile. Universidad de Chile.2001. 93p

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.
Documentación: presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC-1486, Bogotá D.C.: Icontec, 2008. 120p.

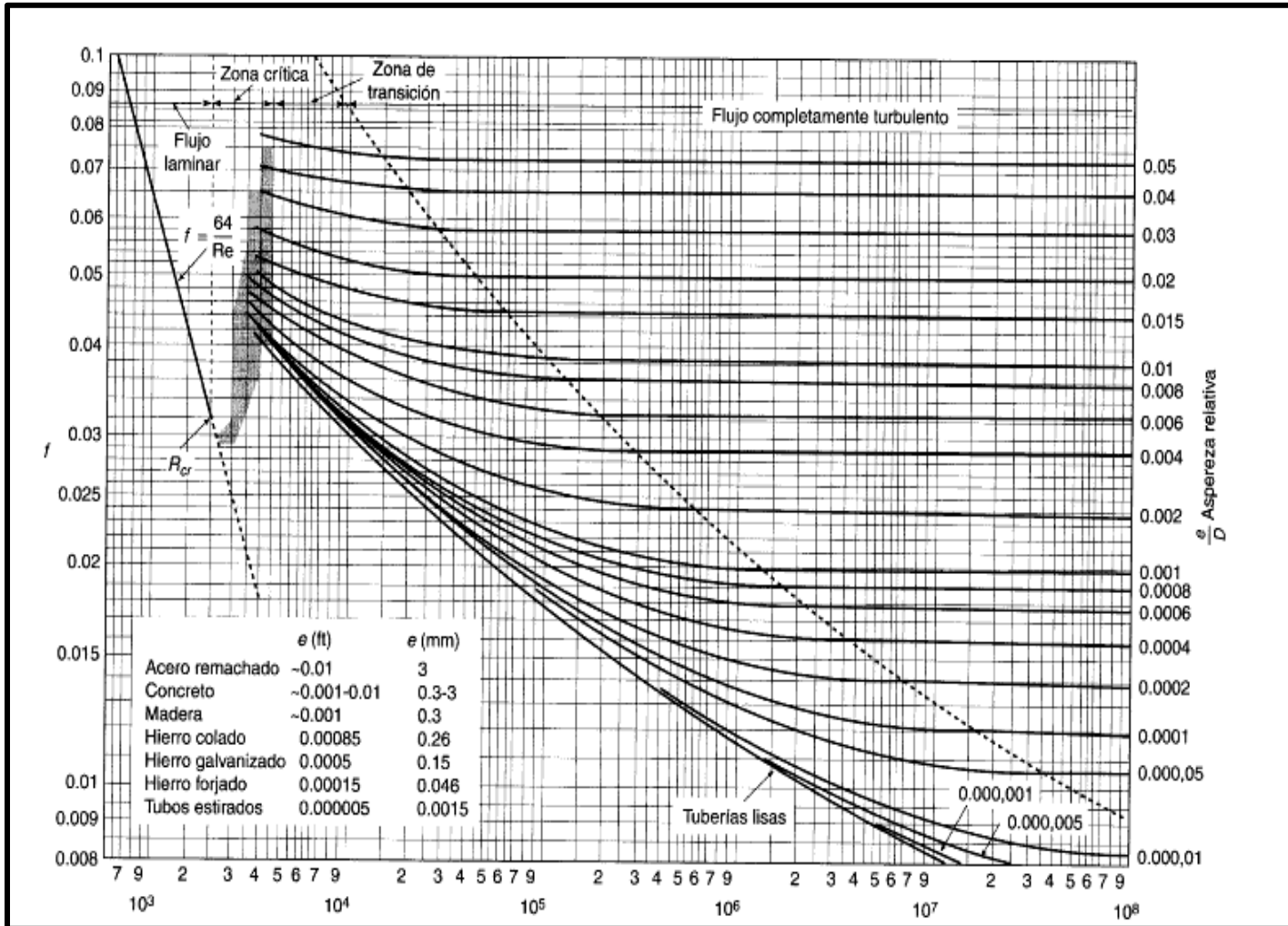
MEHTA R.D. y BRADSHAW P, Design Rules for Small Low-Speed Wind Tunnels",
Aero. Journal (Royal Aeronautical Society), Vol. 73, p. 443 (1979)

Ministerio de Minas y Energía, UPME. Atlas de viento y Energía Eólica en
Colombia. 2006.168p

VERA, Gonzalo M. Diseño de un Túnel De Viento Subsónico para Investigaciones
Aerodinámicas. Tesis De Grado Ingeniero Civil Mecánico. Santiago de Chile.
Universidad de Chile. 1976. 132p

ANEXOS

ANEXO A. DIAGRAMA DE MOODY



ANEXO B. PROPUESTAS ECONOMICAS

COTIZACIONES PARA CONSTRUCCION DEL BANCO EXPERIMENTAL



TALLER INDUSTRIAL
ALBERTO VASQUEZ

Bucaramanga, noviembre 26 2011

SEÑORES :

Universidad Industrial de Santander
Escuela de ingeniería mecánica
Atención : ULISES FRIAS

Por medio de la presente nos permitimos cotizarles la siguiente estructura con base a la solicitud presentada por ustedes.

Ducto, estructura y mallas con medidas y materiales según planos suministrados.

DESCRIPCION	VALOR
Ductos en C-12 lamina Hot Rolled	\$ 22'200.000 + IVA
Estructura en acero Hot Rolled	\$ 12'400.000 + IVA
Malla C-20 acero inoxidable	\$ 2'910.000 + IVA

Especificaciones técnicas:

- Tipo de soldadura MIG de alta penetración
- Lamina c-12 (2.5 mm) Hot Rolled.
- Pintura al horno electroestatica
- Garantía por un año por construcción.
- Tiempo de entrega 1 mes.

VALOR : 37'510.000 + IVA

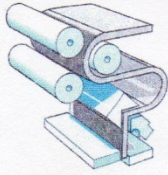
FORMA DE PAGO : A convenir

Quedaremos atentos a su pronta respuesta,

Muy cordialmente,

Diego Fernando Vasquez
DIEGO FERNANDO VASQUEZ
Jefe de ventas

Carrera 15 No. 6 - 74
Teléfonos: 671 12 72 - 671 75 30
Telefax: 671 26 37 / Bucaramanga



CORPLIEGUES
NIT. 63.306.615 -3

- SERVICIO DE CORTE Y PLIEGUE.
- SERVICIO DE CILINDRADO Y CURVADO.
- SERVICIO DE CORTE CON PLASMA.
- VENTA DE LAMINAS HOT ROLL, COLD ROLLED, ALFAJOR Y ACERO INOXIDABLE

Bucaramanga, noviembre 17 2011

SEÑORES :

Universidad Industrial de Santander
Escuela de ingeniería mecánica
Atn : ULISES FRIAS

Presentamos a ustedes la siguiente propuesta comercial en respuesta a su amable solicitud.

- Ductos en tuberías de sección transversal cuadrada y redonda (dimensiones ajustadas a planos entregados por ustedes)
- Estructura de soporte
- Laminas en acero inoxidable C-20 perforada.
- Pintura en anticorrosivo y esmalte.
- Soldadura MIG

VALOR : 48'800.000 mas IVA

FORMA DE PAGO: 50% inicio 50% entrega

TIEMPO DE ENTREGA : 45 días.

Quedamos atentos a sus requerimientos,

Cordialmente,

EDGAR MAURICIO NIÑO NIÑO.

Asesor comercial

Cel. 3134330693

DALLE 23 No. 12 - 53 - TELÉFONO: 6425221 - FAX: 6421123 - BUCARAMANGA - COLOMBIA
E-MAIL: corpliegues@hotmail.com



SEÑORES:

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

Conforme a su solicitud nos permitimos cotizar la fabricación del siguiente requerimiento.

1. Caja en acrílico cristal.
 - Tamaño 1050 x 1050 x 2000 mm.
 - Color cristal.
 - Calibre 10 mm.
 - Tapa lateral removible.
 - Total 4 caras según planos.
 - Perforaciones para adaptadores.
 - **Valor: 3.950.000 pesos.**

En la espera de poder servirle,

Muy cordialmente,

JAVIER ROMERO CASTRO

C.c. 91.077.582 San Gil

*Carrera 16 # 15-43
Barrio San Francisco
671 27 27 – 671 08 89
colombialaser@hotmail.com
Bucaramanga, Colombia*



Bucaramanga, Noviembre 21 del 2011

Señores
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
Escuela de Ingeniería Mecánica
Ingeniero Ulises Frías T.
L.C.

Teniendo en cuenta la solicitud de nuestros servicios para su proyecto, me permito cotizarle la siguiente propuesta.

1. Consola sección de ensayos .

- * Tamaño 1.050 x 1.050 x 2.0 mts.
- * Calibre 10 mm.
- * Color cristal.
- * Cuatro caras laterales.
- * Sección lateral removible.
- * Perforado para instalaciones.
- * Cantidad 1.

Valor 3.760.000 pesos.

Esperando su pronta y positiva respuesta.

Att.

JAVIER ALIRIO RODRIGUEZ VERA
C C 91.287.105 Bucaramanga

CRA. 16A N. 49 - 18 SAN MIGUEL TEL.: 6426454 CEL. 3174355900
BUCARAMANGA - COLOMBIA.

COTIZACIONES VENTILADORES AXIALES



Bucaramanga, 24 de Noviembre de 2011

COTIZACION No. 113042

ING. ULISES FRIAS TARON

ulo1000@hotmail.com

Ciudad

REF: COTIZACION EQUIPO EXTRACTOR AXIAL TUBULAR + VARIADOR DE FRECUENCIA.

Atendiendo a su solicitud estamos presentando a consideración nuestra propuesta para la compra - venta de un (1) ventilador axial tubular y un (1) variador de frecuencia para motor de 15 Hp.

Con base a la información proporcionada por Ud. Se seleccionó el siguiente ventilador y variador de frecuencia:

- *Un (1) Extractor axial tubular marca S&P, modelo TGT/4 1.250 – 3/11. 16,84 m³/s a 312 Pa, con motor de 15.0 HP – 1725 RPM. 220/440 V.*
- *Un (1) Variador de frecuencia marca DANFOSS, modelo VLT FC 102, Potencia 15 HP, Voltaje 220V, Corriente 46.2 A. Especial para aplicaciones de ventilación, con Controlador Smart Logic integrado, INDUCTANCIAS INCLUIDAS + FILTROS ARMÓNICOS*

Nuestra propuesta solo contempla el suministro de equipos, la instalación, acometida eléctrica, bases y demás aditamentos correrán por cuenta del cliente y será totalmente independiente a FRIOCOL S.A.S.

Adjunto a la presente encontrará la descripción general de la propuesta, costos y condiciones generales del contrato.

Sin otro particular y esperando haber atendido a su solicitud, quedamos a su disposición para aclarar cualquier inquietud referente al proyecto.

Cordialmente,

JOSE G NIEVES ZARATE

Ing. de Diseño y Presupuesto.

Dibujos: NGZ/JN
Aprobó: NGZ/AL

CARRERA 16 No. 23-35 – TEL:(57)(6) 633 82 62 EXT: 120 – FAX:(57)(6) 633 65 24 – E-MAIL: RESUPUESTO@FRIOCOL.COM – BUCARAMANGA, COLOMBIA



CONDICIONES DEL CONTRATO

1. VALOR TOTAL DEL CONTRATO:

<i>PRESUPUESTO</i>	
<i>Extractor Axial Tubular</i>	\$ 6,522,275
<i>Variador de Frecuencia</i>	\$ 3,908,250
<i>Subtotal</i>	<u>\$ 12,430,525</u>
<i>IVA 16%</i>	<u>\$ 1,988,684</u>
TOTAL	\$ 14,419,409

NOTAS:

- FRIOCOL S.A.S. SE RESERVA EL DERECHO DE AJUSTAR ESTOS PRECIOS EN EL EVENTO DE QUE SE PRESENTE UNA DEVALUACIÓN ACUMULADA SUPERIOR AL 3 % MENSUAL EN UN PERIODO DE 30 DÍAS.
- LOS TIEMPOS DE ENTREGA ESTÁN SUJETOS A LA CONSIGNACIÓN OPORTUNA DEL ANTICIPO, POR LO TANTO LAS FECHAS SE CONTARÁN A PARTIR DEL MOMENTO EN QUE SE HAGA EFECTIVO EL ANTICIPO.
- LA COTIZACIÓN SOLO INCLUYE LOS MATERIALES ESPECIFICADOS EN ESTE DOCUMENTO. CUALQUIER OTRO MATERIAL NO ESPECIFICADO EN ESTE DOCUMENTO, SE ENTENDERÁ QUE NO ESTÁ INCLUIDO EN EL SUMINISTRO Y SERÁ COTIZADO DE MANERA ADICIONAL.

2. FORMA DE PAGO:

50% Anticipo – Saldo contra entrega.

3. GARANTIAS:

Todos los equipos y accesorios, ofrecidos a instalar, tienen una garantía de un (1) año contra defectos de fabricación.

4. VALIDEZ DE LA OFERTA:

Los precios considerados en esta propuesta tienen una vigencia de quince (15) días.

5. TIEMPO DE ENTREGA:

El tiempo de entrega estipulado es de doce (12) a catorce (14) semanas para el extractor y de una (1) a dos (2) semanas para el variador de frecuencia, este tiempo está sujeto a disponibilidad de inventario.

6. OBRAS A CARGO DEL CONTRATANTE:

Estarán a cargo del Contratante las siguientes obras:

- Todo lo concerniente a la instalación de los equipos. FRIOCOL S.A.S solo se encargará del suministro de los equipos en bodega de Bucaramanga



Bucaramanga, 24 de Noviembre de 2.011

COTIZACION No. 113 046

ING. ULISES FRIAS TARON

ulo1000@hotmail.com

Ciudad

REF: COTIZACION EQUIPO EXTRACTOR AXIAL DE ALTO RENDIMIENTO.

Atendiendo a su solicitud estamos presentando a su consideración nuestra propuesta para la compra - venta de un (1) ventilador - extractor axial marca **GREENHECK** para entregar en la ciudad de Bucaramanga.

Con base a la información proporcionada por Ud. Se seleccionó el siguiente ventilador axial.

- *Un (1) Ventilador axial marca GREENHECK, modelo AX 123-533. 16,12 m³/s a 305 Pa, con motor de 20.0 HP - 1725 RPM. 220/440 V. El ventilador es de 8 aspas a un angulo de 15° - presión sonora emitida: 91 dB.*

Nuestra propuesta solo contempla el suministro de equipos; la instalación, acometida eléctrica, bases y demás aditamentos correrán por cuenta del cliente.

Adjunto a la presente encontrará la descripción general de la propuesta, costos y condiciones generales del contrato.

Sin otro particular y esperando haber atendido a su solicitud, quedamos a su disposición para aclarar cualquier inquietud referente al proyecto.

Cordialmente,

JOSE G NIEVES ZARATE

Ing. de Diseño y Presupuesto.

Elobot: NGZ/JN
Aprob: NGZ/AL



CONDICIONES DEL CONTRATO

1. VALOR TOTAL DEL CONTRATO:

PRESUPUESTO	
Ventilador Axial GREENHECK	\$ 11,771,185
Subtotal	\$ 11,771,185
IVA 16%	\$ 1,883,390
TOTAL	\$ 13,654,575

NOTAS:

- FRIOCOL S.A.S. SE RESERVA EL DERECHO DE AJUSTAR ESTOS PRECIOS EN EL EVENTO DE QUE SE PRESENTE UNA DEVALUACIÓN ACUMULADA SUPERIOR AL 3% MENSUAL EN UN PERIODO DE 30 DÍAS.
- LOS TIEMPOS DE ENTREGA ESTÁN SUJETOS A LA CONSIGNACIÓN OPORTUNA DEL ANTICIPO, POR LO TANTO LAS FECHAS SE CONTARÁN A PARTIR DEL MOMENTO EN QUE SE HAGA EFECTIVO EL ANTICIPO.
- LA COTIZACIÓN SOLO INCLUYE LOS MATERIALES ESPECIFICADOS EN ESTE DOCUMENTO. CUALQUIER OTRO MATERIAL NO ESPECIFICADO EN ESTE DOCUMENTO, SE ENTENDERÁ QUE NO ESTÁ INCLUIDO EN EL SUMINISTRO Y SERÁ COTIZADO DE MANERA ADICIONAL.

2. FORMA DE PAGO:

50% Anticipo – Saldo contra entrega.

3. GARANTIAS:

Todos los equipos y accesorios, ofrecidos a instalar, tienen una garantía de un (1) año contra defectos de fabricación.

4. VALIDEZ DE LA OFERTA:

Los precios considerados en esta propuesta tienen una vigencia de quince (15) días.

5. TIEMPO DE ENTREGA:

El tiempo de entrega estipulado es de doce (12) a catorce (14) semanas para, este tiempo está sujeto a disponibilidad de inventario e importación.

6. OBRAS A CARGO DEL CONTRATANTE:

Estarán a cargo del Contratante las siguientes obras:

- Todo lo concerniente a la instalación de los equipos. FRIOCOL S.A.S solo se encargará del suministro de los equipos en bodega de Bucaramanga

COTIZACIONES INSTRUMENTACION



Quotation
August 9, 2011

Prepared By: Daniel Sherwood
Lead Time Estimate: 90-120 Days
Prices Valid for: 90 Days
Payment Terms: 25% Down and Confirmed Irrevocable Letter of Credit
Shipping terms: FCA Origin (Laurel, MD USA)

Prepared for:
ULYSSES FRIAS
ufrias@yahoo.com

Quantity	Description	Unit Price	Line Total
1	AEROLAB 1/2-Inch(B) Sting Balance Six-component Force and Moment Wind Tunnel "Sting" Balance. - diameter 1/2-Inch - Normal Force 60-lbs - Side Force 36-lbs - Axial Force 25-lbs - Pitching Moment 120-inch-lbs - Yawing Moment 70-inch-lbs - Rolling Moment 80-inch-lbs	\$56,481.00	\$56,481.00
1	AEROLAB 1-inch Sting Balance Six-component Force and Moment Wind Tunnel "Sting" Balance. - diameter 1-Inch - Normal Force 300-lbs - Side Force 150-lbs - Axial Force 80-lbs - Pitching Moment 500-inch-lbs - Yawing Moment 250-inch-lbs - Rolling Moment 250-inch-lbs	\$62,153.00	\$62,153.00

Notes:

- All prices are in US Dollars.
- AEROLAB international sales policy requires either a confirmed irrevocable letter of credit or payment-in-full. The purchaser is responsible for all related banking fees and charges. Work on the project begins when acceptable payment terms are reached.
- All AEROLAB products come with a 1 year warranty on parts and labor. All repairs are completed at AEROLAB.
- "TBD" = "To Be Determined"

Subtotal	TBD
Shipping	TBD
Total	TBD

COTIZACIONES SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS



ES INSTRUMENTACION NIT 830.053.412-1

COTIZACION 12121

PRECIOS EN PESOS COLOMBIANOS

Institucion: Universidad Industrial de Santander
Atn. Escuela de Ingenieria Mecánica
Proyecto:
Fax:

Direccion: Cra 27 calle 9
Telefonos: Ciudad: BUCARAMANGA
Contacto en ventas: Ing Monica Guarín Castañeda

Item	Cant	No. Parte	Descripcion	Valor Unitario	Valor Total
1	1	781716-01	CRIO-9076 Integrated Controller and Chassis System, 400 MHz PowerPC controller, LX 45 Gate FPGA, 4-slots.	\$5,577,000	\$5,577,000
2	1	779006-01	NI 9481 4-Ch 30 VDC (2 A), 60 VDC (1 A), 250 VAC (2 A) EM Form A SPST Relay Module	\$468,975	\$468,975
3	1	779017-01	NI 9932 Strain relief & high voltage conn kit, 10-pos screw terminal plug w/ cable housing for 10-pos. screw terminal	\$88,725	\$88,725
4	1	781068-01	NI 9207 8-ch (current) + 8-ch (voltage) combo module, 24bit with 50/60Hz rejection	\$1,723,800	\$1,723,800
5	1	779353-01	CB-37F-LP Unshielded, I/O Connector Block with 37-pin D-Sub	\$126,750	\$126,750
6	1	778621-01	SH37F-37M-1 37-Pin Female to Male Shielded I/O Cable, 1 m	\$88,725	\$88,725
7	1	960903-04	NI Standard System Assurance Program for CompactRIO	\$583,020	\$583,020
8	1	781093-01	NI PS-15 Power Supply, 24 VDC, 5 A, 100-120/200-240 VAC Input	\$608,400	\$608,400
9	1	777455-01	NI Academic Site License - Department Teaching Includes 1 Year Standard Service	\$22,979,775	\$22,979,775
DESCUENTOS:				SubTotal	\$ 32,245,170
16% por pago 100% anticipado.				IVA	\$ 5,159,227
12% por pago contraentrega					
8% por pago a 15 dias calendario de la fecha de la factura.				Total	\$ 37,404,397
Comentarios:					
Esta cotizacion tiene una validez de 15 dias calendario a partir del 25 de Noviembre de 2011					

Garantía.

ES Instrumentacion se encargara de todos los gastos y tramites de garantia de las partes durante un periodo de un (1) año a partir de la fecha de recibido. Si el daño es por mal manejo, el cliente asumira el costo de reparación.

National Instruments garantiza al Cliente que la fabricación del hardware y los materiales que lo componen, se entrega libre de defectos de fabricación, la garantía del Hardware sera de (1) año, valida desde la fecha de recepcion de los equipos por parte del cliente, el Software licenciado por National Instruments, se garantiza por un periodo de Noventa - 90 - días desde la fecha de entrega, los terminos de garantía se encontraran señalados en el Contrato de la Licencia.

La unica responsabilidad de National Instruments bajo la presente garantía sera la de proceder a la reparación de los Equipos Hardware / software o la sustitucion de los mismos.

En el supuesto de que dicha reparación o sustitucion no fuera razonable o factible National Instruments reembolsara el precio de venta / canon de licencia.

Salvo acuerdo contrario, la reparación o sustitucion se llevara a cabo en las instalaciones de National Instruments, en Austin - Texas USA.

Forma de Pago: 30 días fecha de la factura

Tiempo de Entrega: 30 días hábiles despues de la fecha de la orden de compra.

Pago de anticipos: Cuenta Corriente BANCOLOMBIA #2070-1823660 a nombre de E.S. INSTRUMENTACION

Carrera 51 # 104B-69 Of.- L.103-Bogotá-PBX: 4824888 Fax 2183062 - L. Gratuita: 01 8000 513680

COTIZACIONES COMPUTADOR PORTATIL (LAPTOP)

Inspiron 15

Precios desde **COP\$1.099.000**

Ahorro Instantáneo **COP\$100.000**

Subtotal COP\$999.000



McAfee, la protección más eficaz frente a las amenazas de la red e Internet y los virus.

[Ver Nota Legal](#)

[Detalles de descuentos](#)

[Fecha de envío preliminar: 11/12/2011](#)

Mis selecciones [Todas las opciones](#)

• Inspiron 15

Date	01/12/2011 01:57:23 a.m. Central Standard Time			
Número de catálogo	787802 Retail codhs 1			
Número de catálogo / Descripción	Código del producto	Qty	SKU	Id.
Sistema Operativo: Windows® 7 Home Premium Original, 64-bit, Español	W7HP64S	1	[318-0382][331-0806][331-2724] [331-3077][331-3882][420-6438] [420-6578][420-9891][421-0082] [421-3642][421-4047][421-4289] [421-4358][421-5785][463-2282]	11
Color del Sistema: Negro Obsidian	OBLACK	1	[318-1097]	10
Programa de MS Office: Microsoft® Office Starter 2010: funcionalidad reducida de Word y Excel con publicidad. No incluye Pow erpoint ni Outlook	ISTART	1	[410-0487]	22

Garantía y Servicios: 1 Año - Garantía a Domicilio.	L1OS	1	[916-1247][933-0511][933-0561]	29
McAfee SecurityCenter : McAfee SecurityCenter, 15-Meses	MCEM15M	1	[410-0573]	25
Disco Duro: 500GB 5400RPM SATA Hard Drive	500G54	1	[342-2980]	8
Inspiron N5050 HR: Inspiron 15	ENRN50R	1	[225-1802]	1
Componentes Base de la Región: DLA Spanish Regional Base Components	DLASPN	1	[331-2152][331-2157][331-3026] [331-3681][331-3688][331-4194]	23
Procesador: Intel®Pentium™Dual Core; B950 2.1Ghz/ 1333 MHz DDR3, GT1, 650-1100 MHz Gfx Turbo / 2M	B950	1	[317-8103]	2
Memoria: 4GB Shared Dual Channel DDR3 at 1333MHz	4G2D	1	[317-7535]	3
Tarjeta de Video: Intel® HD Graphics	UMAHD	1	[320-2699]	6
Pantalla Led: 15.6" High Definition (720p) LED with TrueLife™ LCD Display and Integrated Webcam		1	[320-2490][421-5354]	5
Tarjeta de Red: Integrated 10/100 Network Card	INTNC	1	[430-2651]	13
Adobe Reader: Adobe Acrobat X Reader	ADOBEX	1	[410-0548]	15
Dispositivo óptico: 8X CD / DVD Burner (Dual Layer DVD+-R Drive)	8DVDRWR	1	[318-1087][421-4541]	16
Sonido: High Definition Audio 2.0	IS	1	[313-4783]	17
Tarjeta Inalámbrica: Dell Wireless 1701 802.11b/g/n, Bluetooth v3.0+HS	DW1701B	1	[430-4196]	19
Batería: Lithium Ion Battery (6-Cell)	6CBAT	1	[312-1238]	27



[Portátiles](#) | [PCs](#) | [Portátiles para Empresas](#) | [PCs para Empresas](#) | [Workstations](#) | [Servidores](#) | [Almacenamiento](#) | [Monitores](#) | [Impresoras](#)
 Derechos de autor 1999-2011 Dell Inc.
[Términos de uso](#) | [Problemas sin resolver](#) | [Términos y condiciones de venta](#) | [ACTUALIZADO Política de privacidad](#) | [Sobre Dell](#) | [Reciclaje de Dell](#) | [Contáctenos](#) | [Mapa del sitio](#) | [Comentarios](#)

Oferta válida en Colombia sólo para configuraciones aquí publicadas entre el 25 de noviembre y 1 de diciembre de 2011 en www.dell.com/co, no acumulable con otras promociones. Precios en pesos colombianos, incluyen gastos de envío y aranceles. Computadores cuyo valor sea \$2.061.000 o inferior, están excluidos de IVA. Precios calculados con base en la tasa de cambio representativa del mercado (TRM). Si en la fecha de recepción de la orden de compra, la TRM ha aumentado en un 3% o más, Dell podrá reajustar el precio en la misma proporción. La TRM podrá ser consultada en: <http://www.superfinanciera.gov.co>. Venta máxima de 5 unidades por orden y cliente. El peso

COTIZACION TUNEL DE VIENTO AEROLAB



Prepared By: Dan Rodgerson
 Lead Time Estimate: 120 days
 Prices Valid for: 90 days
 Payment Terms: Domestic = 25% Down, Net 30
 International = 25% Down and Confirmed Irrevocable Letter of Credit
 Shipping terms: FOB Laurel, MD

Quotation
 11/21/2011

Prepared for:
 ULISES FRIAS TARON
 Msc. Mechanic engineer
 UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
 SANTANDER
 COLOMBIA

Quantity	Description	Unit Price	Line Total
1	20" x 28" Open Circuit Wind Tunnel Maximum Speed of 100mph No Test Section Boundary Layer Compensation Approximately 0.1 - 0.25% turbulence intensity Axial Fan with Variable Frequency Drive Aluminum Honeycomb flow straightener Two turbulence reducing screens Painted Steel and Aluminum construction Overall dimensions approximately 35'x6.3'x7.3' (l x w x h) Recommended Room 60' x 19' 25 HP fan motor - 220 VAC Shipping has not been included		\$133,566.00
1	Data Acquisition and Control System User input required to finalize the system performance <u>Previous systems have included all or some of the following functionality:</u> Displays, controls and records airspeed Displays, monitors and records data from pressure transducer arrays Displays, controls and records air temperature Controls, monitors, and displays 4 axes of motion Conditions, displays and records balance output. Real Time Systems are built on the PXI platform, other systems are built on the SCXI platform		\$15-45,000
1	Medium Sized Pyramidal Balances 6-components Accuracy and repeatability within 1% of full scale load limits or better Force and Moment Limits Lift ± 275 lb Side ± 95 lb Drag ± 85 lb Roll ± 720 in-lb Pitch ± 720 in-lb Yaw ± 720 in-lb		\$126,000.00

Aerolab 9580 Washington Blvd N. Laurel, MD 20723 www.aerolab.com 301-776-6585



**ANEXO C. PROPUESTA DE FINANCIACION DIRIGIDA AL BANCO DE
PROYECTOS DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO ID-01 : DESCRIPCION DEL PROBLEMA O NECESIDAD

**NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE
AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA**

La generación de energía, ha sido por años uno de los temas más estudiados y valorados por los profesionales de la ingeniería, y por esto se hace imprescindible la creación de tecnología que permita visualizar por medio de ensayos experimentales, características de los fenómenos que inciden en este tipo de procesos.

La energía eólica, como fuente de energía limpia y renovable, ha tomado gran fuerza dentro de las alternativas que pretenden reemplazar la generación de energía por medio de combustibles, y es considerada como el futuro del sector de producción de energía.

Si consideramos estos planteamientos, resulta muy acertado la realización de proyectos que permitan avances en la implementación y optimización de producción de energía por medio del viento, hecho que contribuye al desarrollo de la región y beneficia a la búsqueda de soluciones a sectores del país que no cuentan con el servicio de energía y además que la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial, tiene como uno de sus objetivos primordiales, el desarrollo de facilidades tecnológicas que permitan a la comunidad estudiantil y docente, la búsqueda de nuevas áreas de investigación y fomenten la creación de proyectos que generen soluciones a los diferentes problemas sociales y económicos del país, es viable la búsqueda de una herramienta que permita el estudio de la influencia del viento en diferentes áreas de la ingeniería, con lo cual se apoyara la formación de los estudiantes de pregrado y se complementara las labores investigativas propuestas en la maestría.



FORMATO ID-02 : OBJETIVOS DEL PROYECTO

**NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE
AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA**

OBJETIVO GENERAL

- Contribuir a la Proyección de la UIS como un centro investigativo en el área de la energías renovables (eólica).
- Continuar con la misión de la Universidad Industrial de Santander, la cual busca atender y dar solución a las diferentes necesidades de la comunidad, con la iniciativa de crear tecnología dentro del ambiente universitario que pueda mejorar la calidad de vida de los colombianos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Construcción de un banco experimental que permita la caracterización de aerogeneradores de baja potencia.
- Contribuir al desarrollo de nuevos grupos de investigación dentro de la escuela de ingeniería mecánica de la universidad industrial de Santander, en estudio de contextos ingenieriles donde la influencia del viento es factor determinante.
- Implementar prácticas académicas para la nueva maestría de ingeniería mecánica de la universidad de Santander, aumentando el nivel de competencia de los aspirantes en el área de la generación de energía eólica.



**FORMATO ID-03: POBLACION AFECTADA Y/O ZONA AFECTADA Y POBLACION
OBJETIVO DEL PROYECTO**

**NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE
AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA**

Podemos agrupar la población beneficiada con la construcción de esta facilidad tecnológica de la siguiente manera:

Población Directa

En este grupo de personas se encuentran todos los estudiantes y docentes de las escuelas de Ingeniería Mecánica y Civil, los cuales pueden utilizar esta herramienta como banco de pruebas para adelantar estudios en diversas áreas de la carrera. De esta manera podemos afirmar que más de 1000 estudiantes serán directamente beneficiados.

Población Indirecta

En este grupo se encuentran estudiantes y docentes del país que se beneficiarían con esta instalación, ya que no se cuenta con una instalación de características generales, que permita la creación de conocimiento en base a resultados experimentales. Es apropiado resaltar que esta herramienta puede generar facilidades para la búsqueda de soluciones a problemas de generación de energía en el país, apoyando aún más la iniciativa del gobierno al cumplimiento de políticas ambientales cada vez más exigentes. Por último, se resalta el apoyo que brindara a empresas del sector privado en búsqueda de soluciones a diferentes problemas que conciernen a la influencia del viento.



FORMATO ID-04 : DESCRIPCION DE LA SITUACION ACTUAL Y SU EVOLUCION

**NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE
AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA**

Actualmente en el país, los estudios sobre la influencia del viento en la generación de energía son concentrados en adaptaciones de modelos diseñados en otros países, lo cual conlleva a resultados no esperados y a la toma de decisiones erróneas. A pesar de los esfuerzos realizados por los centros educativos de realizar estudios enfocados al desarrollo de este tema, la incapacidad de realizar pruebas experimentales que apoyen los resultados teóricos, dejan un sabor de inseguridad en los avances realizados, hecho que permite que los procesos investigativos solo queden marginados al uso académico y no práctico. La escuela de Ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander, reconocida por el país como estándar de calidad, no cuenta con herramientas tecnológicas para la creación de conocimiento en el área de aprovechamiento de fluidos y a pesar de los valiosos esfuerzos realizados por la adecuación de pequeños bancos de pruebas, no ha logrado satisfacer las necesidades que el contexto del país impone. La principal causa del problema, es el poco incentivo del personal administrativo a la consecución de facilidades tecnológicas, hecho que día a día contribuirá al atraso en materia académica y pérdida de nivel investigativo de la Universidad.

A pesar que se cuenta con los recursos y el espacio para la adecuación de nuevos bancos de ensayos, así como también con el personal capacitado para darle el uso adecuado que estas herramientas requieren, no se han generado proyectos que involucren la creación de una instalación de estas características, limitándose a crear propuestas de compra de los equipos en el exterior, hecho que no hace viable la iniciativa.

FORMATO ID-05: DESCRIPCION Y CUANTIFICACION DE LA NECESIDAD O PROBLEMA

**NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE
AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA**

La gran mayoría de los laboratorios y bancos experimentales de la escuela de Ingeniería Mecánica, son utilizados únicamente para el ámbito académico y solo alcanzar a satisfacer las necesidades de estudio de un porcentaje muy bajo de asignaturas. Sumado a este hecho, muchos de esos bancos y facilidades no cuentan con elementos suficientes para cubrir en un porcentaje conveniente, los objetivos planteados en prácticas de asignaturas de pregrado y mucho menos para asistir procesos de investigación y producción de conocimiento, hecho que resulta de gran importancia en pro del desarrollo de la Universidad.

Actualmente la Escuela de Ingeniería Mecánica cuenta con los siguientes laboratorios:

- Laboratorio de Turbomáquinas Hidráulicas.
- Laboratorio de Plantas Térmicas.
- Laboratorio de Sistemas Oleoneumáticos.
- Laboratorio de Vibraciones.
- Laboratorio de Mecanismos.
- Laboratorio de Control Automático.
- Laboratorio de Autómatas, Redes Industriales e Instrumentación.

De los laboratorios mencionados, ninguno cuenta con un banco donde se pueda observar el efecto del viento en diferentes áreas de la ingeniería, especialmente de la generación de energía, con lo cual resulta imposible gestionar soluciones a diferentes procesos académicos en donde es necesario el estudio de la influencia del viento.

La cuantificación de los recursos disponibles, se realizó por medio de una visita a los diferentes laboratorios de la escuela, identificando cuales seguían activos.



**BANCO DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN DE
LA UIS BPPIUIS**

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO ID-07 : PRINCIPALES ALTERNATIVAS DEL PROYECTO

**NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE
AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA**

ALTERNATIVA No. UNICA :

**NOMBRE: CONSTRUCCION DE UN TUNEL DE VIENTO Y SELECCIÓN DE
INSTRUMENTACION**

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO ID-08 : DESCRIPCION DE LA ALTERNATIVA NO:

NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA

NOMBRE DE LA ALTERNATIVA: CONSTRUCCION DE UN TUNEL DE VIENTO Y SELECCIÓN DE INSTRUMENTACION

Descripción de la alternativa:

De acuerdo a los objetivos planteados, la alternativa del proyecto requiere:

1. La construcción de un banco experimental para la caracterización de aerogeneradores de baja potencia, compuesto de las siguientes secciones:

SECCION	DESCRIPCION	MATERIAL
ENSAYOS	1.05m x 1.05m x 2m	ACRILICO
DESARROLLO FLUJO	1.05m x 1.05m x 5m	ACERO C-12
ENTRADA	2.05m x 2.05m x 2m 3 mallas	ACERO C-12
CONTRACCION	ANSI/AMCA Standard 210-85	ACERO C-12
DIFUSOR DE SALIDA	Angulo de difusión 5° Relación de Áreas: 3	ACERO C-12
ESTRUCTURA	Soporte de las secciones	ACERO C-12
VENTILADOR AXIAL	Q= 5.5 -16.5 m ³ /S Pt = 300 Pa	FABRICANTE

* Detalles de construcción en planos dimensionales.

2. La adquisición de instrumentación necesaria para la medición de las variables requeridas para la caracterización de los fenómenos a estudiar.

Las variables a medir y las características de la señal de salida del instrumento son:

VARIABLES	TIPO DE SEÑAL
Presión	Analógica
Temperatura	Analógica
Velocidad del viento	N/A
Balanza Aerodinámica	Analógica x 6
Encoder	Analógica
Encendido y apagado	Digital
Alarma	Digital

Con estas señales se seleccionara un sistema de adquisición de datos, incluyendo el computador y software necesarios para la aplicación.

Esta alternativa ha sido planteada como única debido a la carácter especifica de la necesidad identificada.



BANCO DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN DE LA UIS BPPIUIS

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO PE-01: DESCRIPCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS PRINCIPALES BENEFICIOS DEL PROYECTO

SECCION A: DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES BENEFICIOS DEL PROYECTO

NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACIÓN DE AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA

- Ampliar la capacidad de prácticas realizadas en las diferentes ramas de la ingeniería estudiadas por los estudiantes y docentes.
- Posibilidad de préstamo de servicios a otras Universidades, para impulsar la utilización de energías renovables en el país.
- Motivar al personal estudiantil y docente, para la creación de nuevos grupos de investigación donde se desarrollen proyectos de novación tecnológica que beneficie a la Universidad y a la región.
- Brindar servicios de extensión al sector privado, y así conseguir el auto sostenimiento del banco.
- Apoyar las diferentes iniciativas de implementación de utilización del viento como recurso de generación de energía dentro de la universidad.

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO PE-02 : PRESUPUESTO DE OBRA DEL PROYECTO						
SECCIÓN A: INVERSIÓN						
NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA						
ALTERNATIVA: UNICA						
COMPONENTE		ADQUISICION DE BIENES MUEBLES				
CATEGORÍA	DETALLE	UNIDAD	CANT	VLR UNIDAD (MILES DE PESOS)	VLR PARCIAL (MILES DE PESOS)	OBSERVACIONES
BANCO EXPERIMENTAL	SECCION ENSAYOS		1	3.760	3.760	
BANCO EXPERIMENTAL	SECCIONES EN ACERO C-12		1	22.200	22.200	
BANCO EXPERIMENTAL	ESTRUCTURA SOPORTE		1	8.522	8.522	
BANCO EXPERIMENTAL	VENTILADOR AXIAL		1			
BANCO EXPERIMENTAL	MALLAS		3	970	2.910	
INSTRUMENTACION	TRANSDUCTOR DE PRESION		1	955	955	
INSTRUMENTACION	RTD			536		
INSTRUMENTACION	BALANZA AERODINAMICA			119.955		
INSTRUMENTACION	ANEMOMETRO					
INSTRUMENTACION	ENCODER					
INSTRUMENTACION	VARIADOR DE FRECUENCIA			3.908		
INSTRUMENTACION	COMPUTADOR PORTATIL		1	999	999	
INSTRUMENTACION	FRENO DE EJE					



**BANCO DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN DE
LA UIS BPPIUIS**

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO PE-02 : PRESUPUESTO DE OBRA DEL PROYECTO						
SECCIÓN A: INVERSIÓN						
NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA						
Alternativa: UNICA						
COMPONENTE		INVERSION EN ADQUISICION DE BIENES INTANGIBLES				
CATEGORÍA	DETALLE	UNIDAD	CANT	VLR UNIDAD (MILES DE PESOS)	VLR PARCIAL (MILES DE PESOS)	OBSERVACIONES
SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS	LABVIEW		1	22.979	22.979	



**BANCO DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN DE
LA UIS BPPIUIS**

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO PE-03 : COSTOS DE INVERSIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

NOMBRE DEL PROYECTO:

Alternativa:

(Este formato es generado por el Sistema)



**BANCO DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN DE
LA UIS BPPIUIS**

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO PE-04 : COSTOS DE OPERACION DE LAS ALTERNATIVAS

Nombre Del Proyecto:

Alternativa:

(Este formato es generado por el Sistema)



**BANCO DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN DE
LA UIS BPPIUIS**

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO PE-05 : CAPACIDAD INSTALADA

**NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE
AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA**

¿CUAL ES LA CAPACIDAD INSTALADA POR EL PROYECTO?

Banco experimental con velocidad de viento de 5-15 m/s en la sección de ensayos,
Envergadura de los modelos de hasta 0.8 m2.

CANTIDAD: 1 Banco Experimental

UNIDAD DE MEDIDA: Números de Reynolds Simulados

OBSERVACIONES

Este tipo de instalaciones se caracterizan por el área de la sección de ensayos y el rango de
velocidades de viento disponible. De su relación se conoce el termino Numero de Reynolds.



**BANCO DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN DE
LA UIS BPPIUIS**

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO PE-06 : RESUMEN DE COSTOS DE LA ALTERNATIVA

NOMBRE DEL PROYECTO:

Alternativa:

(Este formato es generado por el Sistema)



**BANCO DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN DE
LA UIS BPPIUIS**

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO PE-07 : EFECTO AMBIENTAL

**NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE
AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA**

Alternativa: Única

Podemos resumir el impacto que nuestro proyecto tiene sobre el ambiente desde dos frentes:

- **Ecológico:** La tecnología implicada en este proyecto, en ningún momento conlleva al perjuicio de la salud de quienes lo manipulan, así como también al hábitat animal y vegetal que le rodea.
- **Cultural:** La llegada de estos dispositivos a la escuela de ingeniería mecánica, influirá de una manera positiva en el interés de quienes desarrollen las experiencias, de modo que se incentiva el conocimiento y aprendizaje de nuevas tecnologías.

Los efectos sobre el suelo, fauna y aire no fueron descritos, ya que el proyecto propuesto no afecta ninguno de estos recursos.



**BANCO DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN DE
LA UIS BPPIUIS**

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO PE-08 : SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE MÍNIMO COSTO
NOMBRE DEL PROYECTO:
Alternativa No.:
Costo Precio social: (Información generada por el Sistema)
Nombre de la alternativa:
OBSERVACIONES:



BANCO DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN DE LA UIS BPPIUIS

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO PE-09 : MARCO INSTITUCIONAL

NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA

Dentro de los lineamientos que la actual rectoría ha planteado se destaca el interés por reforzar la investigación y la extensión de la comunidad universitaria, hacia esferas sociales y académicas regionales que contribuyan al crecimiento del sentido de pertenencia por nuestras comunidades, un objetivo clave dentro del planteamiento de este proyecto.

Nuestro mayor interés es suministrarle la Escuela de Ingeniería Mecánica, las herramientas con la suficiente capacidad de sustentar proyectos de investigación y extensión de servicios que contribuyan al desarrollo de nuestra región.



BANCO DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN DE LA UIS BPPIUIS

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO PE-09 : MARCO INSTITUCIONAL

NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA

Dentro de los lineamientos que la actual rectoría ha planteado se destaca el interés por reforzar la investigación y la extensión de la comunidad universitaria, hacia esferas sociales y académicas regionales que contribuyan al crecimiento del sentido de pertenencia por nuestras comunidades, un objetivo clave dentro del planteamiento de este proyecto.

Nuestro mayor interés es suministrarle la Escuela de Ingeniería Mecánica, las herramientas con la suficiente capacidad de sustentar proyectos de investigación y extensión de servicios que contribuyan al desarrollo de nuestra región.

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO FS-01: FUENTE DE FINANCIACIÓN DE LA INVERSIÓN DEL PROYECTO						
NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA						
AÑOS AÑOS CALENDARIO	CENTRO DE COSTOS	EJECUTADO	0	1	SALDO	TOTAL
RECURSOS DE INVERSIÓN	0				0	0
INTERNAS	0				0	0
Fondo Común	0				0	0
Estampilla ProUIS	0				0	
RECURSOS DE FUNCIONAMIENTO	0				0	0
TOTAL FINANCIACION INVERSIÓN	0				0	0



**BANCO DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN DE
LA UIS BPPIUIS**

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO FS-02: FUENTE DE FINANCIACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL PROYECTO									
FORMATO FS-02: FUENTE DE FINANCIACIÓN DE LA OPERACIÓN DEL PROYECTO									
AÑOS	CENTRO								
AÑOS	DE	EJECUTADO	0	1	2	3	SALDO	TOTAL	
CALENDARIO	COSTOS								
RECURSOS	0						0	0	
DE INVERSIÓN									
INTERNAS	0						0	0	
Fondos	0						0	0	
Especiales									
TOTAL	0						0	0	
FINANCIACION									
OPERACION									



**BANCO DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN DE
LA UIS BPPIUIS**

FORMATOS PROYECTOS TIPO A

FORMATO FS-03: SOSTENIBILIDAD DEL PROYECTO

**NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE
AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA**

El retraso de la consecución del proyecto no depende de factores externos, solo los factores internos de la Universidad influyen de manera directa en la inversión y operación de este proyecto.



FORMATOS FICHA EBI

FORMATO EBI-01: CLASIFICACION	
NOMBRE DEL PROYECTO:	BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA
PERIODO :	PRIMER PERIODO AÑO 2011
PROGRAMA:	
SUBPROGRAMA:	



OFICINA DE PLANEACION

**BANCO DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN
BPPIUIS**

FORMATO EBI-02: LOCALIZACIONES

**NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE
AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA**

DEPARTAMENTO

MUNICIPIO

UAA

SANTANDER

BUCARAMANGA

Escuela de Ingeniería
Mecánica

FORMATO EBI-03: JUSTIFICACION DEL PROYECTO

**NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE
AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA**

La escuela de Ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander, reconocida por el país como estándar de calidad, no cuenta con herramientas tecnológicas para la creación de conocimiento en el área de aprovechamiento de fluidos y a pesar de los valiosos esfuerzos realizados por la adecuación de pequeños bancos de pruebas, no ha logrado satisfacer las necesidades que el contexto del país impone.

La población impactada directamente por esta carencia, son los estudiantes y docentes de las escuelas de Ingeniería Mecánica y Civil. También se afecta indirectamente estudiantes de centros educativos menores que dependen en gran medida de los avances y desarrollos que se den en la UIS

La ejecución del presente proyecto, se convertirá en una herramienta valiosa para generar conocimientos en áreas nuevas de la ingeniería en la universidad, así como también, resulta un punto de partida para el comienzo de estudios más profundos en el campo de la generación de energía por medio del viento.



**FORMATO EBI-04: DESCRIPCION DE LA ALTERNATIVA
(ESTE FORMATO ES GENERADO POR EL SISTEMA)**

NOMBRE DEL PROYECTO:

Nombre Alternativa:

Descripción alternativa:

FORMATO EBI-05: FUENTE DE FINANCIACIÓN DE LA INVERSIÓN DEL PROYECTO (ESTE FORMATO ES GENERADO POR EL SISTEMA)						
NOMBRE DEL PROYECTO:						
AÑOS AÑOS CALENDARIO	CENTRO DE COSTOS	EJECUTADO	0	1	SALDO	TOTAL
RECURSOS DE INVERSIÓN						
INTERNAS						
Fondo Común						
Estampilla ProUIS						
RECURSOS DE FUNCIONAMIENTO						
TOTAL FINANCIACION INVERSIÓN						

FORMATO EBI-06: FUENTE DE FINANCIACIÓN DE LA OPERACION DEL PROYECTO (ESTE FORMATO ES GENERADO POR EL SISTEMA)									
NOMBRE DEL PROYECTO:									
AÑOS	CENTRO								
AÑOS	DE	EJECUTADO	0	1	2	3	SALDO	TOTAL	
CALENDARIO	COSTOS								
RECURSOS DE INVERSIÓN									
INTERNAS									
Fondos Especiales									
TOTAL FINANCIACION OPERACION									



OFICINA DE PLANEACION

**BANCO DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN
BPPIUIS**

FORMATO EBI-07: IMPACTO DEL PROYECTO		
NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA		
AREA DE INFLUENCIA		
REGION	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO
Nor-oriental	Santander	Bucaramanga

FORMATO EBI-08: ESTUDIOS QUE RESPALDAN EL PROYECTO

NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA

NOMBRE	FECHA DD MM AA	ENTIDAD AUDITORA	DIRECCIÓN DE CONSULTA
DISEÑO DE UN BANCO EXPERIMENTAL PARA LA CARACTERIZACION DE AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA	01/12/2011	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ING. JAVIER RUGELES



OFICINA DE PLANEACION

**BANCO DE PROGRAMAS Y PROYECTOS DE INVERSIÓN
BPPIUIS**

FORMATO EBI-09: DILIGENCIAMIENTO (ESTE FORMATO LO GENERA EL SISTEMA)	
NOMBRE DEL PROYECTO:	
Funcionario:	
Número de Documento de identidad:	
Tipo de Documento de Identidad:	
Dirección:	
Teléfono:	
Cargo:	

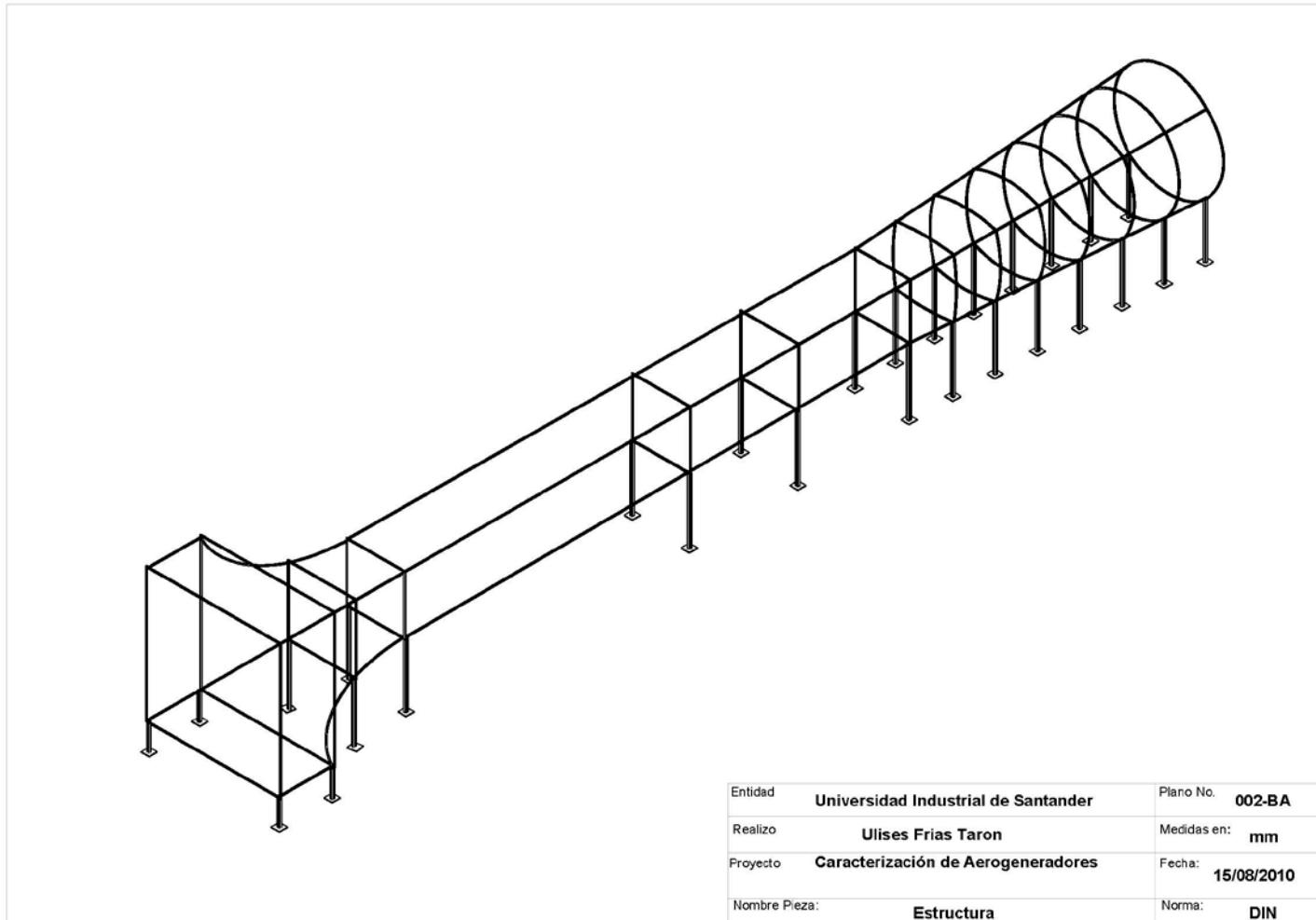


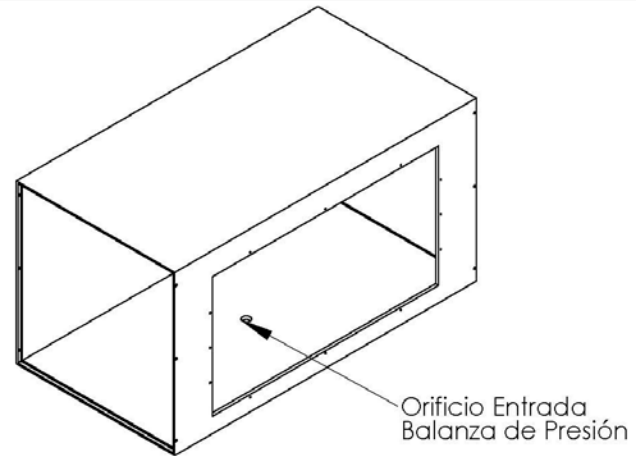
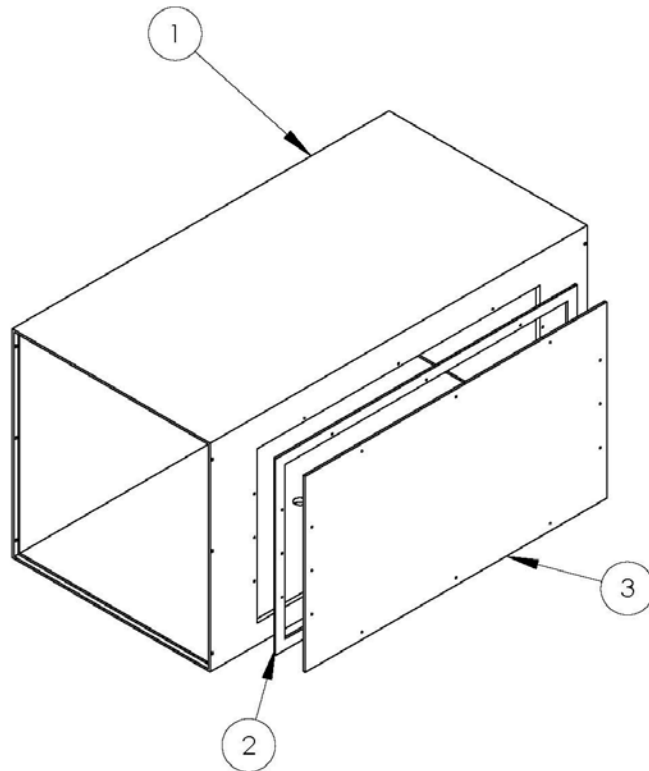
FORMATO EBI-10: OBSERVACIONES DEL PROYECTO DILIGENCIAMIENTO

**NOMBRE DEL PROYECTO: BANCO EXPERIMENTAL PARA CARACTERIZACION DE
AEROGENERADORES DE BAJA POTENCIA**

--

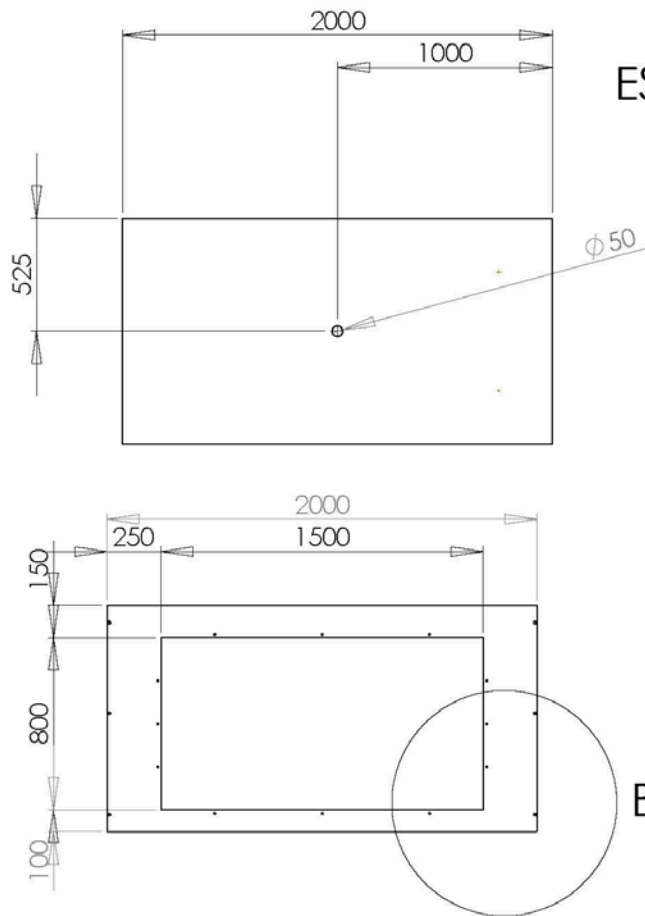
ANEXO D. PLANOS



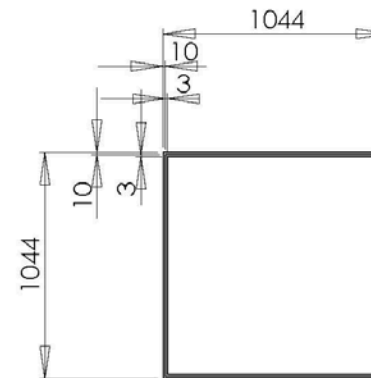
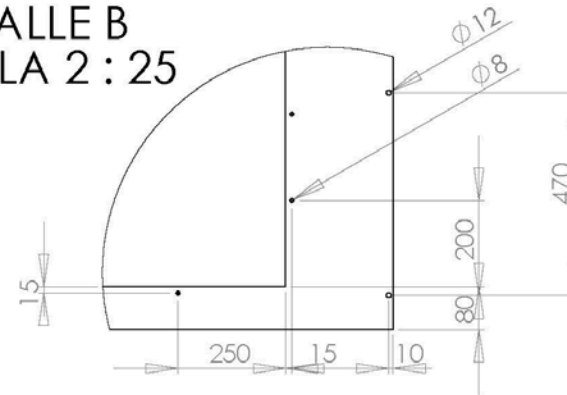


No	Pieza	Descripción
1	Sección de Pruebas	Acrilico
2	Empaque	Corcho
3	Tapa S_Pruebas	Acrilico

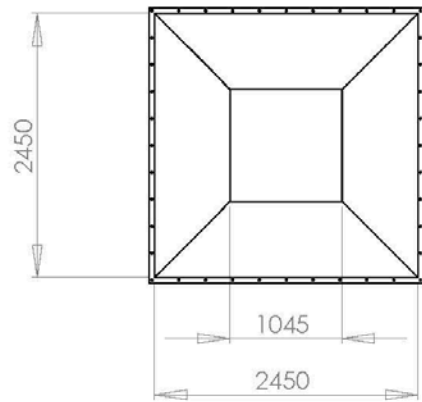
Entidad	Universidad Industrial de Santander	Plano No.	004-BA
Realizo	Ulises Frias Taron	Medidas en:	mm
Proyecto	Caracterización de Aerogeneradores	Fecha:	15/08/2010
Nombre Pieza:	Sección de Ensayos	Norma:	DIN



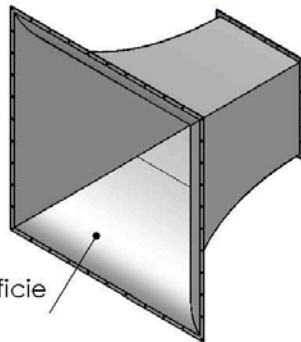
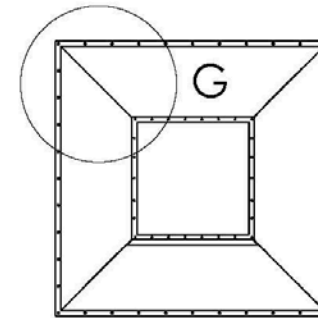
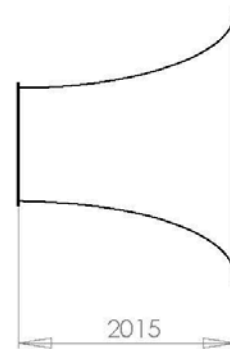
DETALLE B
ESCALA 2 : 25



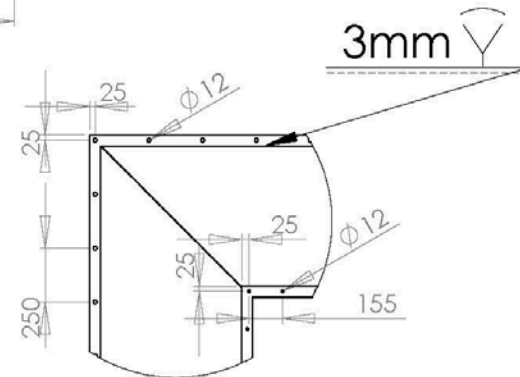
Entidad	Universidad Industrial de Santander	Plano No.	005-BA
Realizo	Ulises Frías Taron	Medidas en:	mm
Proyecto	Caracterización de Aerogeneradores	Fecha:	15/08/2010
Nombre Pieza:	Sección de Ensayos	Norma:	DIN



Diametro 12mm
11Dx250



Superficie
Lisa

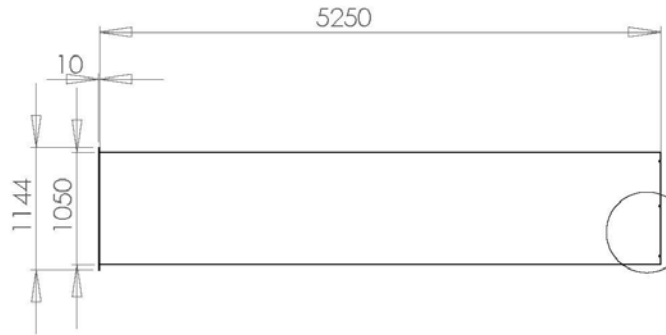
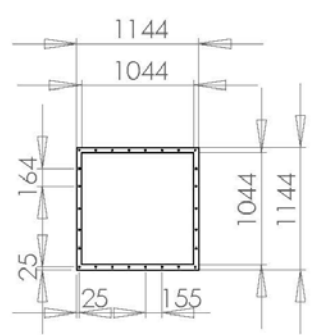


Sección de Entrada

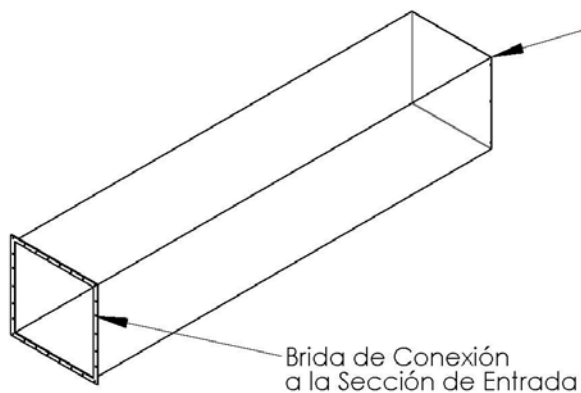
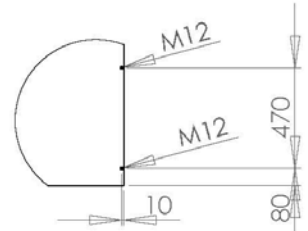
Nº	Propiedades
1	Acero Hot Rolled
2	Calibre 12

DETALLE G
ESCALA 1 : 25

Entidad	Universidad Industrial de Santander	Plano No.	003-BA
Realizo	Ulises Frías Taron	Medidas en:	mm
Proyecto	Caracterización de Aerogeneradores	Fecha:	15/08/2010
Nombre Pieza:	Sección de Entrada	Norma:	DIN



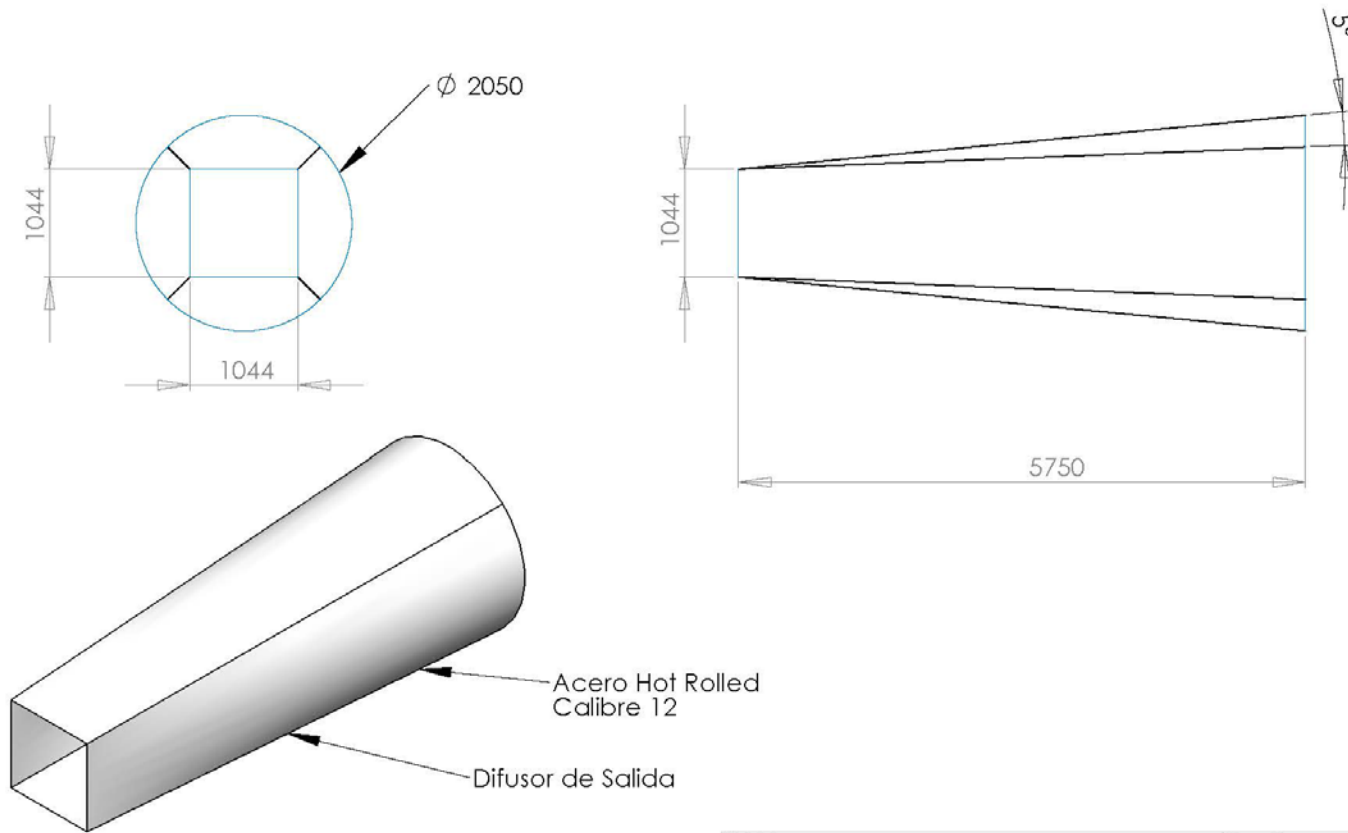
DETALLE I
ESCALA 1 : 25



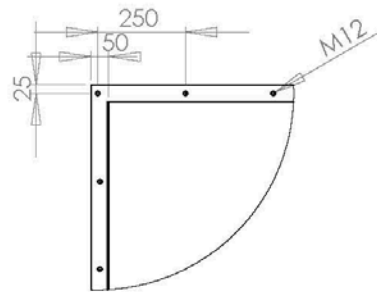
Conexión a la Sección de Pruebas

Brida de Conexión a la Sección de Entrada

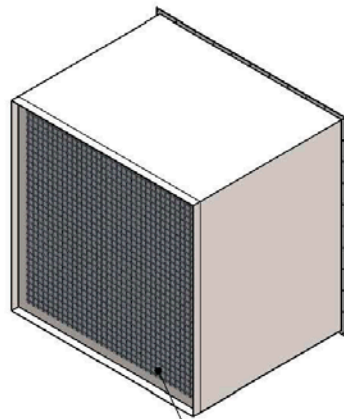
Entidad	Universidad Industrial de Santander	Plano No.	007-BA
Realizo	Ulises Frías Taron	Medidas en:	mm
Proyecto	Caracterización de Aerogeneradores	Fecha:	15/08/2010
Nombre Pieza:	Sección de Acondicionamiento	Norma:	DIN



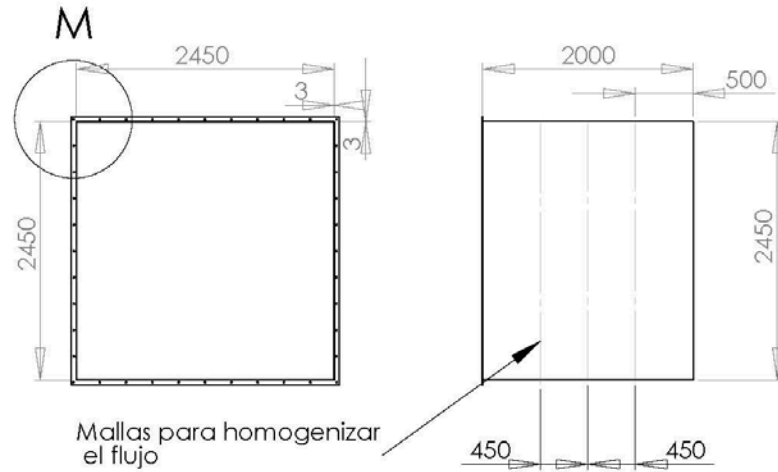
Entidad	Universidad Industrial de Santander	Plano No.	006-BA
Realizo	Ulises Frías Taron	Medidas en:	mm
Proyecto	Caracterización de Aerogeneradores	Fecha:	15/08/2010
Nombre Pieza:	Sección de Salida	Norma:	DIN



DETALLE M
ESCALA 1 : 15



Malla para homogenizar
el flujo



Mallas para homogenizar
el flujo

Las Especificaciones dimensionales de las mallas se encuentran especificadas en el texto del Proyecto

Entidad	Universidad Industrial de Santander	Plano No.	008-BA
Realizo	Ulises Frias Taron	Medidas en:	mm
Proyecto	Caracterización de Aerogeneradores	Fecha:	15/08/2010
Nombre Pieza:	Sección de Entrada	Norma:	DIN