

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN NATURAL
PARA PRODUCIR ENERGÍA ELÉCTRICA EN EDIFICACIONES
MULTIFAMILIAR”**

REALIZADO POR:

EBERTH ALBERTO CARDOZO ROA

**Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito
parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico**

PUERTO LA CRUZ, JULIO 2009

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN NATURAL
PARA PRODUCIR ENERGÍA ELÉCTRICA EN EDIFICACIONES
MULTIFAMILIAR”**

ASESOR

Prof. Oroncio Chacón

Asesor Académico

PUERTO LA CRUZ, JULIO 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN NATURAL
PARA PRODUCIR ENERGÍA ELÉCTRICA EN EDIFICACIONES
MULTIFAMILIAR”**

JURADO CALIFICADOR

Prof. Oroncio Chacón
Asesor Académico

Prof. Richard Estaba
Jurado Principal

Prof. Francisco García
Jurado Principal

PUERTO LA CRUZ, JULIO 2009

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajo de grado:

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”.

DEDICATORIA

A mis amados padres, “Yudith y Eberth”, sin sus invalorables consejos y muy acertados escarmientos no hubiese podido alcanzar esta gran importante meta, gracias por brindarme la educación y calidad de vida que un padre le ofrecería a un hijo, gracias por su amor y apoyo en cada una de mis etapas de crecimiento.

A mi novia Janirene Martínez, que con su apoyo, enorme paciencia, comprensión y amor, me ha dado el ánimo y la fuerza necesaria en esos momentos difíciles que agobian a cada uno de nosotros los estudiantes....

Muy agradecido de todo corazón....
EBERTH ALBERTO CARDOZO ROA

AGRADECIMIENTOS

A Dios, ante todo, por haberme guiado en este camino, que en muchas ocasiones estuvo rodeado de grandes obstáculos, pero gracias a tu ayuda mi señor todas esas barreras fueron superadas, mil gracias.

A mis padres, Yudith de la Trinidad y Eberth Alberto, ellos dieron el inicio, formaron los cimientos, y disfrutaran el éxito con orgullo de la gran crianza que me han brindado.

A mi novia Janirene Martínez y a sus padres Miguel Martínez y Jeanine García de Martínez, por todo el apoyo y consejos que me han brindado, gracias.

A mis hermanas Ysabel y Emily, por estar en esa importante etapa de nuestras vidas, la infancia, gracias por su apoyo y su amor.

A la familia Villamediana Belisario, por su sus consejos y apoyo en mis inicios en la Universidad de Oriente.

A mis gran amigo, Carlos Alejandro Luporsi, a mis excelentes amigos de la universidad del núcleo Bolívar, Derio Tremaria, Jesús Guevara, Miguel Martínez, Jhonatan Martínez, Ruben Martínez, Ronny Guevara, Armando Gomez, Sara Peña, Henry León y Fredy Vera, y a mis compañeros y amigos de la universidad del núcleo Anzoátegui, Jesús Rojas, Carlos Mosqueda, Gustavo Moreno, Pedro Bastidas, Fredy Pereira y Dorian Oliveros.

EBERTH ALBERTO CARDOZO ROA

RESUMEN

Se aplicó un estudio del viento en la zona norte del estado Anzoátegui, específicamente entre Barcelona y Puerto la Cruz, con la finalidad de determinar la viabilidad y factibilidad para la producción de energía eléctrica en edificaciones multifamiliar sin causar contaminación visual en el paisajismo urbano. Se especificaron tanto la velocidad y la dirección, como las características del viento a nivel del mar (data aportada por la estación meteorológica 80419). Se especificó: una edificación multifamiliar de cuarenta y ocho apartamentos y un apartamento modelo. Se determinó que la carga eléctrica del apartamento modelo es de 22,22 KW y de la edificación multifamiliar se encuentra en el orden de 1.605 KW. Se seleccionó generador eléctrico Marathon Electric con certificación ISO 9002 que comprende un rango de desempeño de entre 118 a 2370 kW (en 60 Hz) y de 134 a 2400 kVA (en 50 Hz), modelo número 744FSL4062. Se seleccionó la turbina centrífuga multietapas HSI 186 (HOUSTON SERVICE INDUSTRIE) para el accionamiento del generador eléctrico. Se diseñó el sistema de ducto mediante el método de Asignación de Velocidad, tomando como limitante principal el espacio disponible en la edificación. Conociendo las características del viento se diseñó el colector de aire orientado principalmente hacia la dirección ENE (Este-Nor-Este) más prevaleciente, su diseño se evaluó con una simulación numérica mediante el software ANSYS CFX dando como resultado un diseño óptimo. El estudio de factibilidad se realizó comparando los costos de producir 1.605 KW mediante el sistema estudiado y los costos de la tarifa eléctrica publicada en la Gaceta Oficial Nro. 37.415 del 03 de Abril de 2002 para disponer y usar dicha carga eléctrica.

CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	vii
CONTENIDO	viii
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABLAS	xiv
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 OBJETIVOS	5
1.2.1 Objetivo general	5
1.2.2 Objetivos específicos.....	5
CAPÍTULO 2	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 ANTECEDENTES	6
2.2 RESEÑA HISTÓRICA DE LA ENERGÍA EÓLICA	6
2.3 EL VIENTO	8
2.3.1 El viento y como se origina	8
2.3.2 La circulación general en la atmosfera	10
2.3.2.1 La radiación solar	10
2.3.2.2 Regiones depresionárias y anticiclónicas.....	12
2.3.2.3 La influencia de los continentes	14
2.3.2.4 La fuerza de Coriolis.....	14
2.3.3 Dirección y velocidad del viento	16
2.3.3.1 Representación del viento en un grafico	20

2.3.4 Energía que posee el viento y el potencial eólico.....	21
2.3.5 Tipos de viento	23
2.3.5.1 viento sinóptico	23
2.3.5.2 Viento catabático.....	24
2.3.5.3 Viento anabático	24
2.3.5.4 Viento föhn	24
2.3.6 La brisa	24
2.3.7 Tipos de brisa	25
2.3.7.1 Brisa del mar	25
2.3.7.2 Brisa de ladera.....	25
2.3.7.3 Brisa del valle.....	26
2.4 DUCTOS PARA SISTEMAS DE AIRE.....	26
2.4.1 Circulación de aire por ductos.....	27
2.4.1.1 Propiedades físicas del aire	27
2.4.1.2 Ductos rectangulares y diámetro equivalente	30
2.4.1.3 Accidentes en las conducciones	31
2.4.2 Tipos de ductos.....	31
2.4.2.1 Ducto de chapa metálica	31
2.4.2.2 Ducto de lana de vidrio	31
2.4.2.3 Ducto flexible.....	32
2.4.3 Pérdidas en ductos	32
2.4.3.1 Pérdidas de carga o por fricción.....	32
2.4.3.2 Pérdidas dinámicas.....	39
2.4.3.3 Pérdida de carga total	40
2.4.4 Métodos para el dimensionado de ductos.....	40
2.4.4.1 Método de igual fricción	41
2.4.4.2 Método de recuperación estática	41
2.4.4.3 Método de asignación de velocidades.....	42
2.5 SOPLADORES	42

2.5.1 Clasificación de los sopladores	43
2.5.1.1 Ventilador de hélice	44
2.5.1.2 Ventilador axial	44
2.5.1.3 Ventilador centrífugo	45
2.5.1.4 Formulación	46
2.5.1.5 Curva característica de los ventiladores	48
2.6 GENERADORES ELÉCTRICOS	52
2.6.1 Clasificación de los generadores eléctricos	53
2.6.1.1 Generadores primarios	53
2.6.1.2 Generadores secundarios	54
2.6.2 Piezoelectricidad	54
2.6.3 Obtención de la energía eléctrica	55
2.7 SERVICIO ELÉCTRICO	57
2.7.1 Tarifas del servicio eléctrico	58
2.7.1.1 Usuarios Residenciales	59
2.8 ESTUDIO ECONÓMICO	60
2.8.1 Inversión inicial	60
2.8.2 Costos de Montaje	60
2.8.2.1 Costos de mano de obra directa	60
2.8.2.2 Costo de mano de obra indirecta	60
2.8.2.3 Costo mantenimiento	61
2.8.3 Inversión inicial total	61
CAPÍTULO 3	62
DESARROLLO DEL PROYECTO	62
3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	62
3.2 RECOPIACIÓN DE LOS REGISTROS DE LAS CARACTERÍSTICAS	
DEL VIENTO ENTRE BARCELONA Y PUERTO LA CRUZ, ESTADO	
ANZOÁTEGUI	62

3.3 DETERMINACION DEL CONSUMO ELECTRICO EN UNA EDIFICACION MULTIFAMILIAR DE CUARENTA Y OCHO APARTAMENTOS	63
3.3.1 Edificación modelo.....	63
3.3.2 Apartamento modelo	64
3.4 SELECCIÓN DEL SISTEMA TURBINA-GENERADOR ELECTRICO	65
3.5 DISEÑO DEL DUCTO	66
3.6 EVALUACION DEL COLECTOR DE AIRE	67
3.7 ESTUDIO ECONOMICO PARA EVALUAR LA POSIBLE FACTIBILIDAD DEL PROYECTO.....	71
3.7.1 Inversión inicial	72
3.7.2 Costos de Montaje	72
3.7.2.1 Costos de mano de obra directa	72
3.7.2.2 Costos de mano de obra indirecta	72
3.7.2.3 Costos de mantenimiento	72
3.7.3 Inversión inicial total	73
CAPÍTULO 4.....	73
<i>ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ...</i>	<i>73</i>
4.1 CONDICIONES DEL VIENTO ENTRE BARCELONA Y PUERTO LA CRUZ, ESTADO ANZOÁTEGUI	73
4.2 CONSUMO ELÉCTRICO EN LA EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR DE CUARENTA Y OCHO APARTAMENTOS	76
4.3 SISTEMA TURBINA-GENERADOR ELCTRICO	79
4.4 DIMENSIONADO DEL DUCTO	82
4.5 EVALUACION DEL COLECTOR DE AIRE	83
4.6 FACTIBILIDAD DEL PROYECTO.....	86
4.7 CONCLUSIONES	91
4.8 RECOMENDACIONES	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Comportamiento del viento alrededor de una edificación	3
Figura 1.2	Zona norte del Estado Anzoátegui, Barcelona, Lecherías y Puerto la Cruz	4
Figura 2.1	Incidencia de la radiación solar sobre la tierra	11
Figura 2.2	Zonas depresionarias y anticiclónicas.	13
Figura 2.3	Composición vectorial de cualquier movimiento de traslación sobre la superficie de la tierra	15
Figura 2.4	Rosa de los vientos	16
Figura 2.5	Anemómetro de Cazoleta y Veleta	17
Figura 2.6	Representación de la dirección del viento	20
Figura 2.7	Vector velocidad del viento	21
Figura 2.8	Esquema de un ducto de sección transversal constante	33
Figura 2.9	Diagrama de Moody	37
Figura 2.10	Rodetes y triángulos de salida de los ventiladores centrífugos	45
Figura 2.11	Curvas características típicas de ventilador	49
Figura 2.12	Curvas características de un ventilador	50
Figura 2.13	Curvas características de un ventilador axial	51
Figura 2.14	Curvas características de un ventilador axial con álabes del rodete orientables.	52
Figura 3.1	Edificación multifamiliar modelo	64
Figura 3.2	Geometría del captador de aire.	68
Figura 3.3	Dominios del colector de aire.	69
Figura 4.1	Velocidad del aire en función del mes en el año	75
Figura 4.2	Generador Eléctrico Marathon Electric MAGNAMAX DVR	80

Figura 4.3	Soplador Centrifugo Multietapas HSI serie 186	81
Figura 4.4	Sistema de acople de bandas de goma entre el generador eléctrico y la turbina multietapas	81
Figura 4.5	Ubicación del captador en relación a la dirección del flujo	84
Figura 4.6	Comportamiento del flujo en el interior del colector	85
Figura 4.7	Tendencia del costo del servicio eléctrico en comparación con los generados por el sistema en función del año.	90

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1	Escala de Beaufort de la fuerza de los vientos	18
Tabla 2.2	Relación del área de flujo con respecto al perímetro mojado en ductos	30
Tabla 2.3	Formulación para ventiladores	47
Tabla 3.1	Equipos y artefactos electrodomésticos del apartamento	65
Tabla 4.1	Dirección del Viento (medido en grados con respecto al norte geográfico)	73
Tabla 4.2	Velocidad del Viento (Km/h)	74
Tabla 4.3	Características del Viento (velocidad mínima, velocidad promedio y dirección promedio mensual)	74
Tabla 4.4	Comportamiento promedio anual del Viento	75
Tabla 4.5	Demanda energética del apartamento modelo	77
Tabla 4.6	Demanda eléctrica máxima de la edificación multifamiliar en un instante de tiempo dado.	78
Tabla 4.7	Consumo eléctrico del apartamento modelo	78
Tabla 4.8	Consumo eléctrico de la edificación multifamiliar	79
Tabla 4.9	Medidas de tramos rectos del ducto	82
Tabla 4.10	Medida de reducciones rectangulares del ducto	83
Tabla 4.11	Medida de codos del ducto	83
Tabla 4.12	Velocidad del viento en la salida del colector	85
Tabla 4.13	Costo de equipos.	86
Tabla 4.14	Inversión inicial total	87
Tabla 4.15	Estimación de costos por mantenimiento	88
Tabla 4.16	Tarifa del servicio eléctrico convencional	88
Tabla 4.17	Estimación de costo de producción	89

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial las fuentes de energía alternas son recursos que en las últimas décadas han tenido un desarrollo vertiginoso, siendo Europa uno de los continentes que maneja una mayor tasa de aprovechamiento de los sistemas de generación eólica como alternativas que buscan reducir la quema de combustibles fósiles muy contaminantes y por ende las emisiones a la atmosfera.

El Gobierno Nacional ha comenzado no hace mucho una más agresiva política e incentivos para el uso de las fuentes de energías renovables y ha dictado lineamientos para el desarrollo y aprovechamiento de energías renovables, acordes con el objetivo planteado a nivel mundial de intensificar la utilización de fuentes energéticas no contaminantes, provenientes de los recursos naturales, poco explotadas en el territorio nacional.

Un importante hecho es la incorporación de Venezuela al protocolo de Kyoto y su ratificación el 8 de Diciembre de 2004. Durante los últimos dos años, un especial interés en la energía eólica ha sido importante para el gobierno de Venezuela. El Plan de Negocios 2005-2012 de la más importante empresa petrolera, Petróleos de Venezuela S.A. (P.D.V.S.A), incluye algunos proyectos energéticos con recursos eólicos, energía solar y celdas de combustible en aplicación de transporte.



1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Buena parte de la energía que se consume proviene de la combustión de petróleo, carbón y gas, estos son los llamados combustibles fósiles, causantes del aumento de la temperatura en todo el planeta. Afortunadamente existen otras formas de obtener energía a través de métodos más eficientes y duraderos. Ellas son las llamadas “Energías Alternas”, tales como la energía solar, geotérmica, hidráulica, de hidrógeno, eólica, etc.

El viento es una de las fuentes de energía más antiguas y más usadas. La energía del viento es lo que se conoce como “energía sostenible”, como la energía solar y la fuerza del agua. Se denomina sostenible porque no se queman combustibles fósiles para su obtención, evitando la liberación al aire contaminante dañinos. Además, no se usa ningún recurso no renovable para la generación de energía eólica; ya que este es una fuente de energía renovable.

El uso del viento para la producción eléctrica se ha estado extendiendo rápidamente en años recientes, debido en gran parte a: las mejoras tecnológicas, la maduración de la industria, la gran demanda y alto grado de consumo del suministro eléctrico por parte de la creciente población urbana, el potencial eólico que se presenta como energía renovable en las zonas costeras y una creciente preocupación por las emisiones asociadas a la quema de combustibles fósiles.

Cuando el viento incide sobre un edificio se crea una zona de alta presión (positiva) en la fachada del terreno frontal al viento (barlovento) y en la cubierta; al rodear al edificio incrementa su velocidad, creando zonas de relativa baja presión (negativa) en las caras laterales y en la cara posterior del edificio (sotavento), como se observa en la figura 1.1.

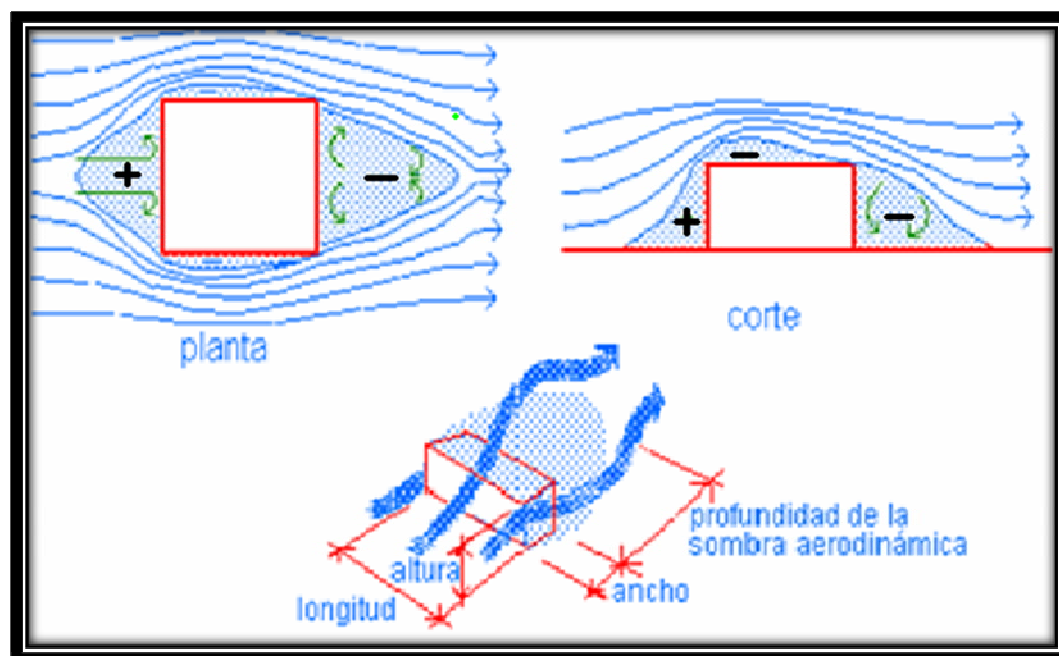


Figura 1.1 Comportamiento del viento alrededor de una edificación (imagen tomada de <http://www.cepis.org.pe/plataforma/arquitectura/clase42/clase42.htm>).

En la zona norte del estado Anzoátegui, específicamente entre Barcelona, Lechería y Puerto La Cruz como se indica en la figura 1.2, es posible el aprovechamiento de la potencia del viento para la producción de energía eléctrica, ya que esta es una zona costera, libre de obstáculos naturales que afecten las condiciones del viento; adicionalmente en las proximidades a estas costas se encuentran numerosas edificaciones multifamiliares que presentan una de las principales características necesarias para desarrollar el estudio.

Es por ello que en este trabajo se pretende desarrollar un método para el aprovechamiento de la energía eólica que a diferencia de los métodos ya existentes no influye en el paisajismo mediante la contaminación visual, proponiéndose una posibilidad de generar corriente eléctrica a un menor costo mediante el estudio de un sistema que canalice el flujo de aire desde la parte superior de una estructura



multifamiliar (edificio) hasta su planta más baja, disminuyéndose la demanda del servicio eléctrico el cual contribuye en el suministro del servicio energético en los sectores que son menos favorecidos para la aplicación de este sistema.



Figura 1.2 Zona norte del Estado Anzoátegui, Barcelona, Lecherías y Puerto la Cruz
(Imagen tomada de Google Earth 2009).

De acuerdo con los registros aportados por la estación meteorológica 80419 ubicada en el Aeropuerto Internacional José Antonio Anzoátegui de Barcelona Estado Anzoátegui en cuanto a las características principales del viento para este estudio, se analizan las velocidades promedio del viento para cada mes del año; para luego seleccionar la velocidad de diseño que en conjunto con otros parámetros será la que



determine la potencia total del viento y así poder estimar cuanta energía se puede obtener y aprovechar para este fin.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de ventilación natural que canalice el flujo de aire desde la parte superior hasta la planta más baja de una estructura multifamiliar (edificio) para la producción de energía eléctrica.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Recopilar los registros de datos de las características del viento entre Barcelona y Puerto la Cruz, Estado Anzoátegui.
2. Determinar el consumo eléctrico de una edificación multifamiliar de cuarenta y ocho apartamentos.
3. Seleccionar el sistema turbina-generator eléctrico que cumpla con la demanda energética de la edificación multifamiliar.
4. Adoptar el método más confiable para el dimensionado del ducto.
5. Evaluar la forma del colector de aire.
6. Realizar un estudio económico para ver la posible factibilidad del proyecto.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

- Mago R, P. (2002), “Desarrollo de Metodologías de Aprovechamiento de Energía Eólica Aplicadas a Viviendas Ecológicas en Guayacán Estado Sucre” ^[1]. En este estudio se empleó una turbina eólica como máquina de absorción de energía del viento en el cual la energía generada era almacenada en células fotovoltaicas.
- No se han registrado estudios de validez científica adicionales referente al tema desarrollado en esta investigación.

2.2 RESEÑA HISTÓRICA DE LA ENERGIA EÓLICA

EOLO, según la mitología griega, era el dios de los vientos. Hijo de Zeus y la ninfa Menalipa, con sólo inflar sus enormes cachetes podía producir huracanes, sirocos, ventiscas, tempestades e incluso brisas, según su variable estado de ánimo.

La historia de la energía eólica o de los vientos se remonta al año 3.500 a.C., cuando los sumerios armaron las primeras embarcaciones de vela. Después, los griegos construyeron máquinas que funcionaban con el viento. Así, desde la Antigüedad éste ha sido el motor de las embarcaciones. Han pasado 5.000 años y los veleros surcan aún los mares. Sin embargo, ésta es sólo una de las bondades del viento. La historia del molino de viento es confusa. Hay quienes afirman que el primero de estos molinos surgió en Seistán, Persia (hoy Irán), aunque parece que existen indicios anteriores de su existencia en la isla griega de Miconos.



Las primeras reseñas históricas de la utilización del viento como fuente de energía para la molienda y el regadío datan del siglo VII a.C. en Persia, unos molinos de eje vertical que figuran en obras geográficas del siglo V a.C. Los citan en el Sijistán, situado entre lo que hoy en día es Irán y Afganistán, donde sopla un viento muy constante llamado de los 120 días.

Los chinos utilizaron desde la antigüedad los molinos eólicos para bombear agua y regar sus tierras; un caso notable del uso de esta energía fueron las carretillas impulsadas con velas para facilitar el transporte de mercancías de un lado a otro. Ya en el siglo XIX, los chinos construyeron un vagón de ferrocarril de pasajeros que tenía una gran vela; su principal desventaja era que la espera para la puesta en marcha, en ocasiones, era bastante larga.

A diferencia de las otras aplicaciones citadas el uso del viento para producir electricidad es más reciente, las primeras experiencias se realizaron a finales del siglo XIX; Charles F. Brush construyó en Estados Unidos durante 1880 una turbina eólica de 12 kW para producir electricidad en corriente continua; esta energía se almacenaba en 12 baterías.

En Europa el precursor de la eólica fue el danés Paul La Cour que a partir de turbinas eólicas provocaba electrólisis para circuitos eléctricos a principios del siglo XX; durante las primeras décadas de este siglo Dinamarca conservó la tradición eólica e incluso hoy es el cuarto país del mundo en potencia instalada y el primero por número de habitantes. En la mitad del siglo XX un holandés, Johannes Jull introduce dos variaciones importantes, modifica los generadores para producir electricidad en corriente alterna y además diseña un aerogenerador que cambiaba la orientación en función de la dirección del viento para aprovechar con más intensidad la energía de éste.



Para el desarrollo de la energía renovable fueron muy importantes las Crisis del Petróleo de 1973 y 1979, los países productores elevaron los precios del barril desde 1,5 a 9 dólares en 1973 y desde 13 a 30 dólares en 1979 causando una profunda crisis económica en los países desarrollados. Esta crisis incremento la inflación que España por la dependencia energética se vió afectada, obligando a que el país Ibérico implantara políticas energéticas encaminadas a disminuir el consumo de petróleo mediante el ahorro energético, la eficiencia energética y potenciar otras fuentes como la nuclear, el gas natural o las energías renovables. La principal ventaja en este contexto es; que éstas energías renovables son una fuente nacional que evita la dependencia del exterior y en el caso de nuevas subidas de los precios del petróleo, la diversificación energética es un arma que puede disminuir los efectos en las economías nacionales. En los últimos treinta años en varias regiones del mundo se ha dado un importante desarrollo de las energías alternativas (EA), como opciones energéticas a los combustibles fósiles, altamente contaminantes y agotables a mediano plazo.

2.3 EL VIENTO

2.3.1 El viento y como se origina

Uno de los efectos que se producen en lo que percibe como el clima, es lo que se conoce como el viento. El viento es la variable de estado de movimiento del aire, siendo el aire una mezcla de gases invisibles que constituye la capa que rodea a nuestro planeta, a la que llamamos atmósfera. El aire que respiramos está compuesto principalmente por oxígeno (20,9%), nitrógeno (78%) y vapor de agua. En el aire también se encuentran pequeñas cantidades de muchas otras sustancias incluidas el dióxido de carbono, argón, neón, helio, hidrógeno y metano.



En meteorología se estudia el viento como aire en movimiento tanto horizontal como verticalmente. Los movimientos verticales del aire caracterizan los fenómenos atmosféricos locales, como la formación de nubes de tormenta. El viento es causado por las diferencias de temperatura existentes al producirse un desigual calentamiento de las diversas zonas de la Tierra y de la atmósfera. Las masas de aire más caliente tienden a ascender, y su lugar es ocupado entonces por las masas de aire circundante, más frío y, por tanto, más denso.

Aunque el mecanismo es difícil de entender, el resultado lo puede sentir todo el mundo: la atmósfera que depende de la distribución y evolución de los centros isobáricos; se desplaza de los centros de alta presión (anticiclones) hacia los de baja presión (depresiones) y su fuerza es tanto mayor cuanto mayor es el gradiente de presiones. En su movimiento, el viento se ve alterado por diversos factores tales como el relieve y la aceleración de Coriolis. En superficie, el viento viene definido por dos parámetros: la dirección en el plano horizontal y la velocidad.

Se denomina propiamente "viento" a la corriente de aire que se desplaza en sentido horizontal, reservándose la denominación de "corriente de convección" para los movimientos de aire en sentido vertical. El viento, como el sol, es una fuente inagotable de energía, aunque sea variable. De hecho, se puede considerar como una forma indirecta de energía solar ya que los movimientos de la atmósfera son resultados del calentamiento intermitente del sol sobre el aire, la tierra y el mar. El viento ha proporcionado energía mecánica para bombear agua y moler el grano a lo largo de muchos siglos, y es en este siglo que los generadores eólicos han servido y sirven para suministrar electricidad a muchos miles de hogares y granjas en las aéreas más rurales de América, Rusia, Australia y en el resto del mundo.



La cantidad de radiación solar que recibe la Tierra es tan enorme, que tan solo un 2% de ella es necesaria para alimentar los mecanismos que crean el viento, las olas y las corrientes oceánicas de nuestro planeta. Más de 15.000.000 millones de KV/H de electricidad se generan anualmente en todo el mundo. De esto, cerca del 65% es producido quemando combustibles fósiles y el resto se obtiene de otras fuentes, incluyendo nuclear, hidroelectricidad, geotérmica, biomasa, solar y el viento. Solamente cerca del 0,3% de esta energía es producida convirtiendo la energía cinética del viento en energía eléctrica.^[2]

El viento es uno de los pocos fenómenos que todo el mundo conoce aunque nadie lo haya visto directamente. Para ver el viento, tenemos que fijarnos en las cosas que mueven, como el polvo, las nubes o los barcos. De todos modos, la naturaleza nos puede dar pistas de si hay o no viento. Los árboles doblados en una dirección son un buen indicador de que en esa zona hay mucho viento y el cual sopla en una determinada dirección.

2.3.2 La circulación general en la atmosfera

El aire de la atmósfera experimenta unos procesos de circulación de carácter general que determinan la climatología, la estacionalidad y evolución de los fenómenos meteorológicos.

2.3.2.1 La radiación solar

La energía calorífica de la radiación solar es la generatriz de todos los procesos meteorológicos y climáticos que se dan en la tierra. Al incidir sobre el planeta, atraviesa el gas atmosférico sin apenas calentarlo; en cambio sí calienta la superficie terrestre que es la que acaba transmitiendo el calor al aire atmosférico en contacto con ella.



Así pues, es la tierra la que calienta directamente la atmósfera y no la radiación solar. Esto tiene una importante trascendencia para entender la dinámica de todos los procesos que se dan en meteorología.

Sin embargo, no toda la superficie de la tierra recibe por igual la misma energía: los polos son las que menos y las zonas ecuatoriales son las que más reciben energía, así como se indica en la figura 2.1. De este modo, la superficie de la tierra no transmite de una forma uniforme el calor al aire que tiene sobre ella.

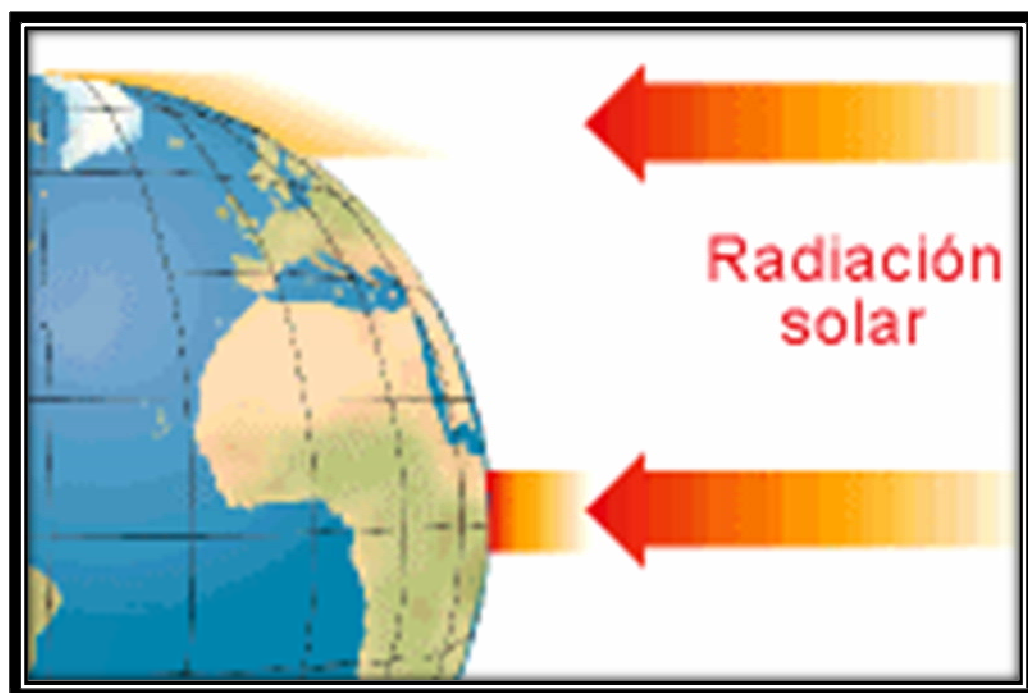


Figura 2.1 Incidencia de la radiación solar sobre la tierra (imagen tomada de <http://www.astroyciencia.com/2008/05/20/el-ciclo-de-la-energia-en-la-tierra/>).



Esto origina intercambios térmicos entre las zonas más calientes y las más frías para restablecer el equilibrio: el aire caliente se desplaza hacia los polos y el aire frío hacia el ecuador. De este modo, las masas de aire nivelan y suavizan el clima en la Tierra y establecen los principios de la circulación general del viento.

2.3.2.2 Regiones depresionarias y anticiclónicas

El aire caliente de la zona ecuatorial se hace más ligero y se eleva. Al ascender, se dirige en altura hacia los polos. A medida que se desplaza hacia el polo sufre la acción de la fuerza de Coriolis, desviándose hacia su derecha en el hemisferio Norte y hacia su izquierda en el hemisferio Sur.

Cuando el aire se enfría cae, y una vez en la superficie de la tierra retorna al ecuador absorbido por las bajas presiones que se generan en la zona al ascender el aire caliente. En este trayecto se vuelve a desviar debido a la fuerza de Coriolis, de manera que al llegar a la zona subtropical es ya un viento del Noreste en el hemisferio Norte, y del sureste en el hemisferio Sur. Estos son los denominados vientos alisios.

En los polos ocurre lo contrario. El aire frío y pesado se desplaza desde la zona polar a ras de suelo en dirección al ecuador. La fuerza de Coriolis, lo desvía al Noreste en el hemisferio Norte, y al sureste en el hemisferio Sur. Al descender de latitud el aire se calienta y asciende, volviendo a la zona polar por arriba, absorbido por la depresión en altitud que genera el aire. Sobre el polo vuelve a enfriarse descendiendo y se cerrando el ciclo.

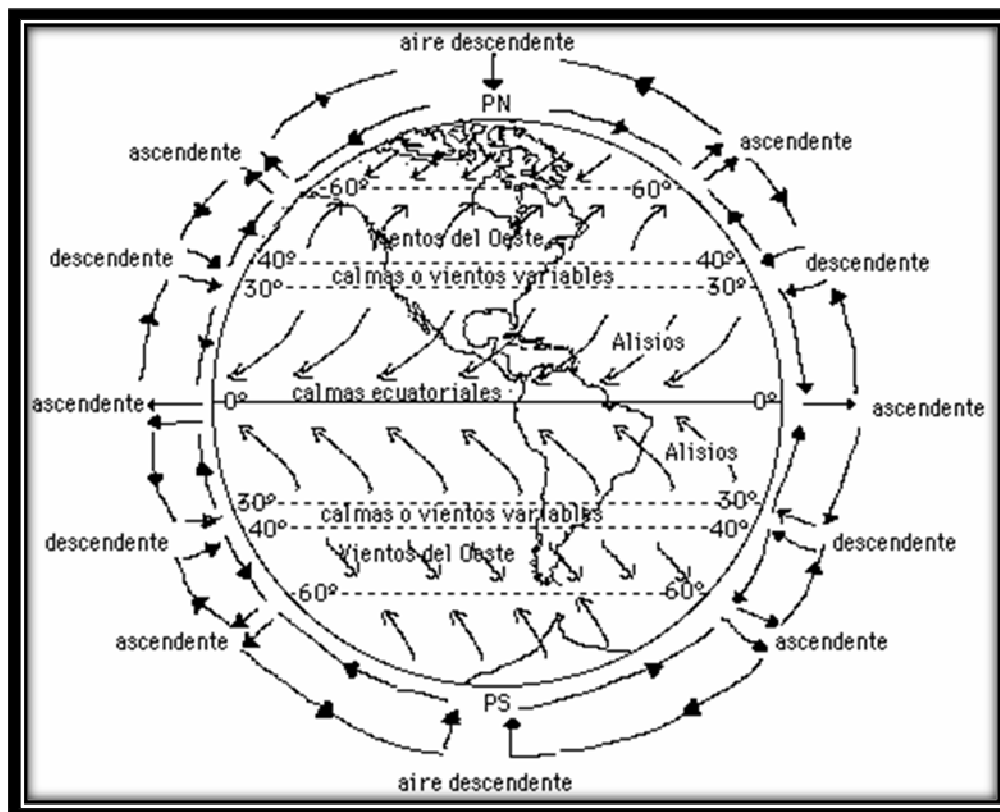


Figura 2.2 Zonas depresionarias y anticiclónicas ^[3].

El ciclo ecuatorial abarca desde el ecuador hasta los 30° de latitud en ambos hemisferios, así como se muestra en la figura 2.2. El polar desde ambos polos hasta los 60°.

En las latitudes templadas que quedan entre los 30 y los 60° de latitud se origina otro ciclo. El aire de la zona es más caliente que el polar y más frío que el subtropical. Por ello el aire de la zona tiene tendencia a trasladarse hacia el polo para llenar el vacío dejado por el aire ascendente en los 60 ° de latitud; al ser desviados de nuevo por la fuerza de Coriolis adquieren una marcada componente oeste en ambos hemisferios. Son los denominados vientos de los oestes cuyo predominio en la zona templada genera el denominado "cinturón de los oestes".



2.3.2.3 La influencia de los continentes

Este equilibrio es el que se produciría si el planeta tuviera una superficie homogénea, pero en realidad hay tierra y agua que se calientan y enfrían de forma distinta. En el hemisferio norte predominan las grandes masas continentales y en el sur el agua, por lo que el modelo de circulación general experimenta variaciones en cada caso. También las masas de tierra y agua se encuentran mezcladas sin uniformidad, por lo que la distribución de las depresiones y los anticiclones no es tampoco homogénea en cada hemisferio.

En general, en verano (enero para el hemisferio sur, y julio para el hemisferio norte) la zona anticiclónica de los 30° de latitud tiende a interrumpirse en los continentes debido a su intenso calentamiento debido a alta absorción de la radiación solar de la tierra que genera la aparición de depresiones denominadas térmicas (el aire caliente asciende).

Son las depresiones suramericana, sudafricana y australiana en el verano austral, y las centroasiática y norteamericana, en el boreal. En invierno (enero para el hemisferio norte, y julio para el sur) la zona anticiclónica se refuerza sobre los continentes al enfriarse el aire sobre ellos más que sobre los océanos. El anticiclón es más denso en los continentes del hemisferio norte, donde la extensión de tierra es superior, que en el sur. Son los anticiclones siberianos y norteamericanos.

2.3.2.4 La fuerza de Coriolis

La denominada fuerza de Coriolis influye en todos los fenómenos de traslación que se realizan sobre la superficie de la tierra. Debido a su rotación, se genera una fuerza que, en el hemisferio sur, desvía hacia el este toda partícula en movimiento de norte a sur y hacia el oeste a las que lo hacen de sur a norte.



Figura 2.3 Composición vectorial de cualquier movimiento de traslación sobre la superficie de la tierra .

Es decir, en el hemisferio sur, la fuerza de Coriolis desvía hacia la izquierda los movimientos de las masas de aire y agua. En el hemisferio norte se produce el efecto inverso: la desviación se produce hacia la derecha, (Fig. 2.3).

La rotación terrestre genera la denominada fuerza de Coriolis que se produce de forma perpendicular a la dirección del movimiento. En el hemisferio sur, el aire procedente de los anticiclones es desviado hacia la izquierda, girando en el sentido contrario de las agujas del reloj. En las depresiones, el viento gira en sentido de las agujas del reloj. En el hemisferio norte se produce el efecto contrario, lo que explica que el viento de las borrascas y los anticiclones gire en sentido inverso.

Este efecto es la base de la denominada Ley de Buys-Ballot que enuncia: “un observador que se coloque cara al viento en el hemisferio sur tendrá siempre las bajas presiones a su derecha y las altas presiones a su izquierda”.



2.3.3 Dirección y velocidad del viento

Se llama dirección del viento el punto del horizonte de donde viene o sopla. Para distinguir uno de otro se les aplica el nombre de los principales rumbos de la brújula, según la conocida rosa de los vientos (Figura 2.4). Los cuatro puntos principales corresponden a los cardinales: Norte (N), Sur (S), Este (E) y Oeste (W). Se consideran hasta 32 entre estos.

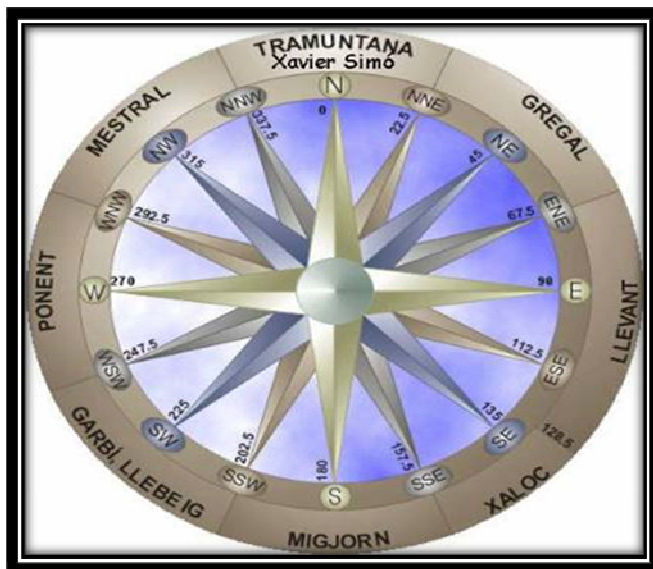


Figura 2.4 Rosa de los vientos.^[2]

Las mediciones de las velocidades del viento se realizan normalmente usando un anemómetro de cazoletas (Figura 2.5). El anemómetro de cazoletas tiene un eje vertical y tres cazoletas que capturan el viento. El número de revoluciones por segundo es registrado electrónicamente.

Normalmente, el anemómetro está provisto de una veleta para detectar la dirección del viento. En lugar de cazoletas el anemómetro puede estar equipado con hélices, aunque no es lo habitual.

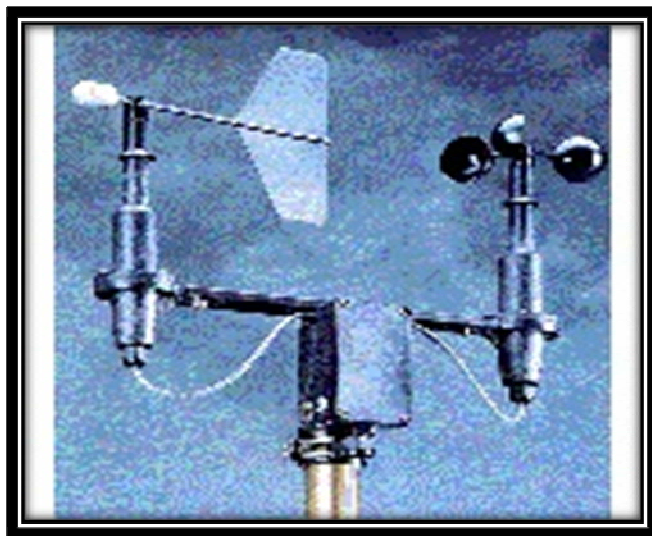


Figura 2.5. Anemómetro de Cazoleta y Velela.^[2]

En el ámbito náutico se mide preferiblemente en nudos y mediante la escala Beaufort. La Escala de Beaufort (Tabla 2.1) es una medida empírica para la intensidad del viento, basada principalmente en el estado del mar, de sus olas y la fuerza del viento. Su nombre completo es Escala de Beaufort de la Fuerza de los Vientos. Esta escala comprende 12 grados de intensidad creciente que describen el viento a partir del estado de la mar. Esta descripción es inexacta pues varía en función del tipo de aguas donde se manifiesta el viento.

Con la llegada de los modernos anemómetros, a cada grado de la escala se le ha asignado una banda de velocidades medidas por lo menos durante 10 minutos a 10 metros de altura sobre el nivel del mar. En la meteorología sinóptica moderna, la escala Beaufort tiende a sustituirse por las mediciones precisas en nudos.



Tabla 2.1 Escala de Beaufort de la fuerza de los vientos.

Número de Beaufort	Velocidad del viento (km/h)	Nudos (millas náuticas/h)	Denominación	Aspecto de la mar	Efectos en tierra
0	0 a 1	< 1	Calma	Despejado	Calma, el humo asciende verticalmente
1	2 a 5	1 a 3	Ventolina	Pequeñas olas, pero sin espuma	El humo indica la dirección del viento
2	6 a 11	4 a 6	Flojito (Brisa muy débil)	Crestas de apariencia vitrea, sin romper	Se mueven las hojas de los árboles, empiezan a moverse los molinos
3	12 a 19	7 a 10	Flojo (Brisa débil)	Pequeñas olas, crestas rompientes.	Se agitan las hojas, ondulan las banderas
4	20 a 28	11 a 16	Bonancible (Brisa moderada)	Borreguillos numerosos, olas cada vez más largas	Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles
5	29 a 38	17 a 21	Fresquito (Brisa fresca)	Olas medianas y alargadas, borreguillos muy abundantes	Pequeños movimientos de los árboles, superficie de los lagos ondulada



Tabla 2.1 Escala de Beaufort de la fuerza de los vientos (continuación, Tomado de: D. Le Gourières, “ENERGIA EOLICA”, Ediciones Masson S.A., Barcelona 1983).

6	39 a 49	22 a 27	Fresco (Brisa fuerte)	Comienzan a formarse olas grandes, crestas rompientes, espuma	Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas
7	50 a 61	28 a 33	Frescachón (Viento fuerte)	Mar gruesa, con espuma arrastrada en dirección del viento	Se mueven los árboles grandes, dificultad para andar contra el viento
8	62 a 74	34 a 40	Temporal (Viento duro)	Grandes olas rompientes, franjas de espuma	Se quiebran las copas de los árboles, circulación de personas dificultosa
9	75 a 88	41 a 47	Temporal fuerte (Muy duro)	Olas muy grandes, rompientes. Visibilidad mermada	Daños en árboles, imposible andar contra el viento
10	89 a 102	48 a 55	Temporal duro (Temporal)	Olas muy gruesas con crestas empenachadas. Superficie del mar blanca.	Árboles arrancados, daños en la estructura de las construcciones
11	103 a 117	56 a 63	Temporal muy duro (Borrasca)	Olas excepcionalmente grandes, mar completamente blanca, visibilidad muy reducida	Estragos abundantes en construcciones, tejados y árboles
12	118 y más	64 a 71>	Temporal huracanado (Huracán)	El aire está lleno de espuma y rociones. Enorme oleaje. Visibilidad casi nula	Destrucción total



2.3.3.1 Representación del viento en un grafico

Se representa en grados de 0 a 360 como se muestra en la figura 2.6. En esta, 0 grados corresponde al norte, 90 al este, 180 al sur, 270 al oeste y 360 grados nuevamente al norte. En la Figura 2.6 se ha representado el viento con una dirección de 120 grados (aprox. del sureste), la punta de la flecha indica de donde viene el viento y las barbas como se verá a continuación la magnitud del viento, en este caso 15 nudos.

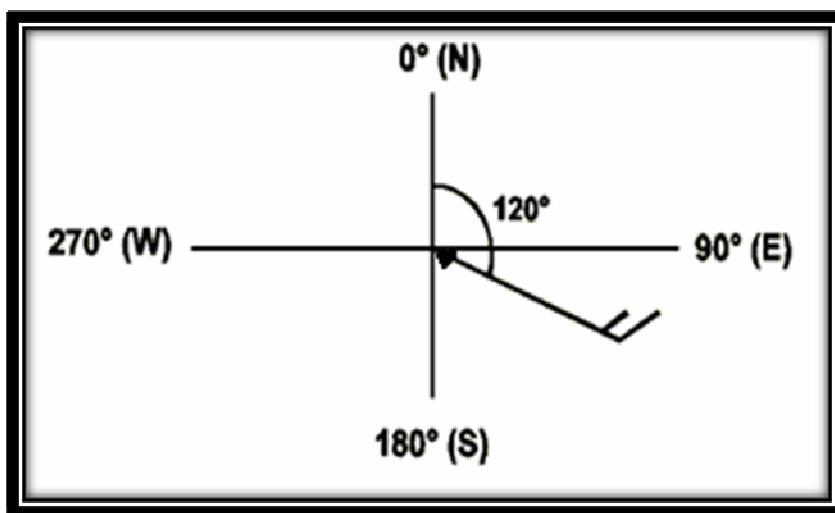


Figura 2.6 Representación de la dirección del viento.

Si es un vector la longitud representa la velocidad del viento. En el caso de las flechas con barbas, la velocidad del viento se representa teniendo en cuenta la escala gráfica siguiente. La barba de menor longitud equivale a 5 nudos, la de mayor longitud 10 nudos y el triángulo 50 nudos; si queremos representar 70 nudos será un triángulo con dos barbas grandes como se muestra en la figura 2.7.

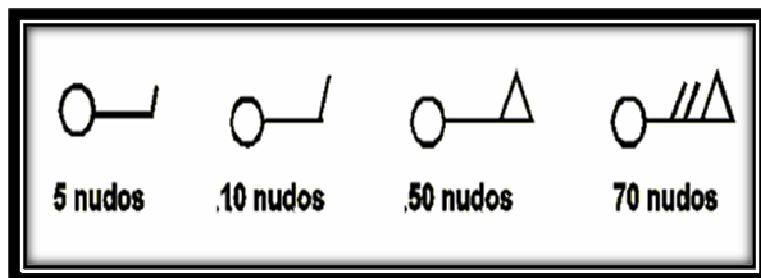


Figura 2.7 Vector velocidad del viento.

La unidad del viento en el Sistema Internacional es m/s, sin embargo aún se usan los nudos (kt) y km/h ($1 \text{ kt} = 1,8 \text{ km/h}$ ó $1 \text{ kt} = 0,5 \text{ m/s.}$). En la alta tropósfera entre los 5 a 20 km de altura los vientos pueden llegar a ser mayores a 100 nudos (50 m/s) y se le denomina corriente en chorro (Jet Stream).

2.3.4 Energía que posee el viento y el potencial eólico

La velocidad del viento es muy importante para la cantidad de energía que un aerogenerador puede transformar en electricidad: la cantidad de energía que posee el viento varía con el cubo (la tercera potencia) de la velocidad media del viento; p.ej., si la velocidad del viento se duplica la cantidad de energía que contenga será $2^3 = 2 \times 2 \times 2 =$ ocho veces mayor.

La potencia del viento depende principalmente de 3 factores:

1. Área por donde pasa el viento.
2. Densidad del aire.
3. Velocidad del viento.

Para calcular la formula de potencia del viento se debe considerar el flujo másico del viento que va dado por:



ρ : Densidad del viento (kg/m^3)

A : Área por donde pasa el viento (m^2)

V : Velocidad del viento (km/h)

Entonces el flujo másico viene dado por la siguiente expresión:

$$M = \rho \times A \times V \quad (\text{Ec. 1})$$

De esta manera la potencia debido a la energía cinética está dada por:

$$P = \rho \times A \times V \times 1/2 \times V^2 = \frac{\rho \times A \times V^3}{2} \quad (\text{Ec. 2})$$

La potencia del viento que pasa perpendicularmente a través de un área circular es:

$$P_v = \frac{\rho \times V^3 \times \pi \times r^2}{2} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

P_v = potencia del viento (W).

ρ = (rho) = densidad del aire seco = $1,225 \text{ kg/m}^3$ (a la presión atmosférica promedio a nivel del mar y a 15°C).

v = velocidad del viento (m/s).

π = (pi) = 3,1415926535...

r = radio del rotor (m).



2.3.5 Tipos de viento

El conocimiento de los vientos generales no es suficiente para una correcta utilización y ubicación de máquinas accionadas por el viento, por cuanto existen factores que modifican el régimen general y que deben ser conocidos y tenidos en cuenta a la hora de realizar un proyecto de este tipo.

Existe un axioma (Bjerknes) que indica el movimiento o sentido de giro del viento: ***Cuando el gradiente de presión y el gradiente de temperatura tienen distinta dirección, se produce una circulación de aire en el camino más corto en el sentido desde el gradiente de presión al gradiente de temperatura.***^[3] En general, los desplazamientos verticales del aire son pequeños en relación a los desplazamientos horizontales, por lo que se puede considerar que la dirección del desplazamiento del viento es sensiblemente horizontal y se determina y refiere mediante el ángulo que conforma respecto a una dirección fija, que es la del Norte geográfico.

2.3.5.1 Viento sinóptico

El viento sinóptico sopla prácticamente en la horizontal, lo que permite esquematizar su movimiento por un vector orientado en el sentido hacia el cual sopla y cuyo origen está situado en el lugar de observación.

Los vientos regionales están regidos también por desplazamientos a la escala sinóptica de las masas de aire, que es más fina y precisa que la circulación general de Hadley (***es una célula de circulación cerrada de la atmósfera terrestre que domina la circulación global atmosférica en las latitudes ecuatoriales y tropicales. La circulación de Hadley está causada por el transporte de calor desde las zonas ecuatoriales hasta las latitudes medias, donde la cantidad de radiación solar incidente es en promedio mucho menor***).



Sus características vienen determinadas en función de situaciones meteorológicas dadas y muy precisas, como son la configuración isobárica y posición de los frentes, teniendo en cuenta también para cualquier lugar, tanto las condiciones geográficas regionales, como las locales.^[4]

2.3.5.2 Viento catabático

En general son vientos catabáticos los que descienden desde las alturas al fondo de los valles o llanuras producto del enfriamiento de los elementos del relieve más altos a medida que el día se acaba.

2.3.5.3 Viento anabático

Son vientos anabáticos los que por el contrario, ascienden desde las zonas más bajas hacia las más altas a medida que el día levanta y el sol calienta los relieves.^[5]

2.3.5.4 Viento föhn

El föhn es un viento fuerte, seco y cálido, que se produce en ocasiones en la ladera de sotavento (contraria a la que sopla el viento) de los sistemas montañosos.^[4]

2.3.6 La brisa

Son movimientos locales de las masas de aire, debido sobre todo al desigual calentamiento del relieve por el sol. La consecuencia de este desigual calentamiento es que se produzcan movimientos verticales de las masas de aire que provocan vacíos y desequilibrios de presión. Para corregir estos desequilibrios, nuevas masas de aire actúan desplazándose para llenar estos vacíos y de esta manera corregirlos.



Son las brisas. Así por ejemplo, una masa de aire que se calienta y eleva por la acción solar deja un vacío que rápidamente es "rellenado" por el aire que se encuentra en las cercanías produciendo una brisa.

2.3.7 Tipos de brisa

2.3.7.1 Brisa del mar

El aire a nivel de superficie circula desde el mar hacia el interior durante el día. La causa es que a medida que el día avanza y calienta más el aire sobre la zona terrestre, éste se desplaza verticalmente, y para compensar este vacío, el aire del mar, menos cálido, se desplaza hacia la tierra. Por la noche el aire se enfría más deprisa en la tierra que en el mar, por lo que el aire circula de forma contraria produciéndose la compensación desde la tierra hacia el mar.

2.3.7.2 Brisa de ladera

Las laderas expuestas al sol sufren una insolación, y por lo tanto, un calentamiento mayor que las llanuras, por lo que el aire que hay sobre ellas termina por ascender apoyándose en esa ladera. Al tiempo, y para compensar el vacío que deja ese aire que asciende, nuevas masas de aire son aspiradas desde las llanuras hacia la ladera, generándose una brisa de tipo convectivo. Además, la hora del día es importante para determinar cuáles son las laderas que mejores brisas generarán, así, por la mañana funcionarán mejor las laderas este, al mediodía las sur o norte, y por las tardes, las oeste.



2.3.7.3 Brisa del valle

Los valles forman a menudo una especie de circo con laderas en todas las direcciones. Durante las horas centrales del día y por calentamiento solar, se producen ascendencias sobre las laderas del valle expuestas al sol. Paralelamente, se producen movimientos compensatorios que trasladan aire desde el fondo del valle hacia esas laderas, y si ese aire no es suficiente, aspiran el mismo desde otros valles o llanuras próximas.

Todo esto se traduce en fuertes ascendencias sobre las laderas expuestas al sol, así como descendencias en la parte central del valle.^[5]

2.4 DUCTOS PARA SISTEMAS DE AIRE

Los ductos de aire son elementos estáticos de la instalación, a través de los cuales circula el aire en el interior del edificio. La misión de un sistema de conductos es transportar el aire desde la unidad de tratamiento de aire (UTA) hasta el recinto a climatizar.

Dentro de los elementos que constituyen el sistema podemos distinguir los ductos y los elementos terminales conectando todo el sistema: aspiración, unidades de tratamiento, locales de uso, retorno y evacuación del aire viciado. A lo largo de los ductos se producen fenómenos de transferencia de masas.

Debido a la irreversibilidad de los procesos energéticos, dentro del ducto, las cualidades del aire tienden a variar de un modo indeseable.^[6]



2.4.1 Circulación de aire por ductos

Para ventilar un espacio, un recinto o una maquina, ya sea impulsando aire o bien extrayéndole, es muy corriente tener que conectar el ventilador/extractor por medio de un ducto, una tubería, de mayor o menor longitud y de una u otra forma o sección. El fluir del aire por tal ducto absorbe energía del ventilador que lo impulsa/extrae debido al roce con las paredes, los cambios de dirección o los obstáculos que se hallan a su paso.

2.4.1.1 Propiedades físicas del aire

Obviamente las propiedades físicas del aire van a depender de la temperatura y de la presión. En el diseño de conductos, las propiedades más utilizadas son la densidad y la viscosidad.

La densidad se puede aproximar como:

$$\rho = \frac{P_{atm}}{287 \times T} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

P_{atm} = presión atmosférica (Pa)

T= temperatura del aire (K)

ρ = densidad del aire (kg/m^3)

Aunque, puede tomarse como aproximación una densidad del aire constante de $1,2 \text{ kg/m}^3$.



En cuanto a la viscosidad del aire, se puede obtener mediante la expresión:

$$\mu = 1,724 \times 10^{-5} \times \left(\frac{T}{273,16} \right)^{0,76} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

μ : Viscosidad del aire (kg.m/s)

T: Temperatura (°K)

El efecto de la presión en la determinación de las propiedades del aire sólo tiene efecto cuando la instalación se ubica por encima de los 3.500 metros sobre el nivel del mar.

El comportamiento del flujo de aire varía a lo largo del ducto. Este comportamiento genera dos tipos de flujo; laminar y turbulento. Se llama laminar cuando su trayectoria es uniforme, los filetes son paralelos y bien definidos, como se pone de manifiesto con trazadores sinópticos. La viscosidad domina el movimiento del fluido, donde

$$\tau = \mu \frac{\partial_v}{\partial_y} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

τ = Fuerza cortante (F/A)

μ = es la viscosidad dinámica (Pas)

El flujo es turbulento cuando la trayectoria de las partículas del fluido es irregular, constantemente cambiante con la aparición y desaparición de numerosos torbellinos, se mueven de forma desordenada en todas las direcciones; es imposible conocer la trayectoria individual de cada partícula.^[6]



La caracterización del movimiento debe considerar los efectos de la viscosidad y de la turbulencia.

Según Prandtl:

$$\tau = \left(\rho \right)^2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \quad (\text{Ec. 7})$$

Según Von Karman

$$\tau = \tau_0 \left(1 - \frac{y}{r_0} \right)^2 = \rho \times 0,4^2 \times \frac{\left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^4}{\left(\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)^2} \quad (\text{Ec. 8})$$

Calculando un número, llamado de Reynolds, que comprende la densidad del fluido, el diámetro del conducto, la velocidad y la viscosidad, puede conocerse que régimen tendremos dentro de un conducto. Por debajo de 2.100 será laminar y, por encima de 4.000, manifiestamente turbulento.

$$\text{Re} = \frac{V \times Lc}{\nu} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

Re= Número de Reynolds

V= Velocidad del fluido (m/s)

ν = Viscosidad cinemática (m²/s)

Lc= Longitud característica (para el interior de la tubería circular es el diámetro, para una sección que no es circular Lc: 4* DH, donde DH: área del flujo / perímetro mojado). Donde Q que es el caudal manejado; viene dado por:

$$Q = V \times A \quad (\text{Ec. 10})$$



Donde:

Q: Caudal (m³/s)

V: Velocidad del flujo (m/s)

A: Área de la sección por donde circula el flujo (m²)

Tabla 2.2 Relación del área de flujo con respecto al perímetro mojado en ductos. ^[3]

Cuadrado de lado L	$DH = \frac{L^2}{4 \times L} = \frac{L}{4}$ (Ec. 11)	$Lc = 4 \times \frac{L}{4} = L$ (Ec. 12)
Rectángulo de lados a y b	$DH = \frac{a \times b}{2 \times (a + b)}$ (Ec. 13)	$Lc = \frac{2 \times a \times b}{a + b}$ (Ec. 14)
Sección circular r _o y r _i	$DH = \frac{\pi \times (r_o^2 - r_i^2)}{2 \times \pi \times (r_i + r_o)}$ $DH = \frac{r_o^2 - r_i^2}{2 \times (r_i + r_o)}$ (Ec. 15)	$Lc = \frac{2 \times (r_o^2 - r_i^2)}{r_i + r_o}$ (Ec. 16)

2.4.1.2 Ductos rectangulares y diámetro equivalente

Los ductos utilizados en la distribución del aire pueden ser circulares o rectangulares. Debido a que la mayoría de las tablas y expresiones se dan para conductos circulares, resulta muy útil el concepto de diámetro equivalente. Si la sección del ducto no es circular, caso frecuente en las instalaciones de ventilación en donde se presenta formas rectangulares o cuadradas, es necesario determinar antes la sección circular equivalente, esto es, aquella que presenta la misma pérdida de carga que la rectangular considerada.



Para determinar el diámetro equivalente de un conducto rectangular puede utilizarse la expresión:

$$D_{eq} = 1,3 \times \frac{(a \times b)^{0.625}}{(a + b)^{0.25}} \quad (\text{Ec. 17})$$

2.4.1.3 Accidentes en las conducciones

Las canalizaciones de aire no siempre se componen de tramos rectilíneos sino que a menudo se presentan accidentes en su trayectoria que obligan al uso de codos, desviaciones, entradas, salidas, obstáculos, etc. Todos los cuales ofrecen resistencia al paso del aire provocando pérdidas de carga. Para conocer la resistencia total de un sistema de conductos será necesario calcular las pérdidas de cada uno de tales accidentes y sumarlos a la de los tramos rectos.

2.4.2 Tipos de ductos

2.4.2.1 Ducto de chapa metálica

De conformación en taller, necesitan de un aislamiento térmico y acústico adicional. Están regulados por la norma COVENIN UNE-EN-12237.

2.4.2.2 Ducto de lana de vidrio

De conformación en obra, aportan de por sí aislamiento térmico y acústico. Regulados por la norma COVENIN UNE-EN-13403.



2.4.2.3 Ducto flexible

Por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) de acuerdo con el Real Decreto 1751/1998 del 31 de Julio de 1998 en España, limitados a una longitud máxima de 1,2 m por su elevada pérdida de presión, se utilizan para las conexiones entre el conducto principal y las unidades terminales. Regulados por la norma COVENIN UNE-EN 13180.^[7]

2.4.3 Pérdidas en ductos

En esta sección se analizarán las pérdidas en ductos debidas a la fricción, que se llaman pérdidas de carga o por fricción, y las debidas a cambios puntuales en las condiciones del flujo como por ejemplo un cambio de dirección, una reducción o expansión en el área de paso del flujo, elementos externos como filtros, válvulas, etc. Estas últimas se denominan pérdidas dinámicas.

2.4.3.1 Pérdidas de carga o por fricción

La pérdida de energía por fricción es la energía que se utiliza para vencer los esfuerzos de corte existentes en el sistema. De igual manera definen las pérdidas que se producen entre el contacto del fluido con la tubería, rozamiento de unas capas de fluido con otra (régimen laminar) o de las partículas del fluido entre sí (régimen turbulento). Tienen lugar en un flujo uniforme, por lo que principalmente suceden en los tramos de ductos de sección constante.

Supóngase una tubería horizontal de diámetro constante por la que circula un fluido cualquiera como en la figura 2.8.

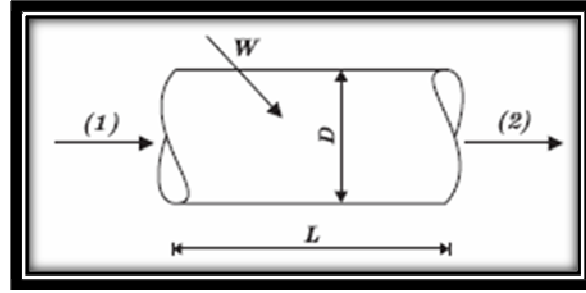


Figura 2.8 Esquema de un ducto de sección transversal constante. ^[3]

Aplicando la ecuación de Bernoulli entre dos puntos 1 y 2, La ecuación de balance de energía tomara, para una tubería o ducto de largo L , diámetro D y trabajo W como el de la figura 2.8, la siguiente forma

$$\frac{P_1}{\rho \times g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2 \times g} = \frac{P_2}{\rho \times g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2 \times g} + \Delta h \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde Δh representa las pérdidas de carga entre 1 y 2.

Según Darcy-Weisbach de un análisis dimensional de la figura 2.8, resulta que:

$$\Delta P_F = \phi \left(\frac{\rho V D}{\mu}, \frac{L}{D}, \frac{\varepsilon}{D} \right) \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (\text{Ec. 19})$$

Donde L es el largo de la sección de tubería analizada, D es el diámetro y ε la rugosidad media de la pared del tubo. El coeficiente ε/D se llama rugosidad relativa.

Como las pérdidas deben ser directamente proporcionales a la longitud recorrida por el fluido, el término L/D puede sacarse de la función obteniéndose:



$$\Delta P_F = \frac{L}{D} \times f \times \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \quad (\text{Ec. 20})$$

Donde:

f: Factor de Fricción

A lo largo del siglo XIX y principios del XX se propusieron numerosas fórmulas empíricas, cada una válida tan solo para las series de tuberías ensayadas. La mayoría se ajustan a la presentada en la ecuación 18. Entre ellas destacan:

Darcy-Weisbach (1875). Tuberías de fundición

$$h_f = f \times \frac{8 \times L \times Q^2}{\pi^2 \times g \times D^5} \quad (\text{Ec. 21})$$

Manning (1890). Tuberías de gran diámetro

$$h_f = 10,294 \times n^2 \times L \times D^{-5,33} \times Q^2 \quad (SI) \quad (\text{Ec. 22})$$

Hazen-Williams (1905). Tuberías para redes distribución de diversos materiales

$$h_f = 10,674 \times C^{-1,852} \times L \times D^{-4,871} \times Q^{1,851} \quad (SI) \quad (\text{Ec. 23})$$

Cada una de estas propuestas adopta como punto de partida la ecuación de Darcy, por ser el factor de fricción f adimensional. El factor f determina básicamente la influencia que tiene la rugosidad ε de las paredes de la tubería sobre las pérdidas de carga, así como la corrección a aplicar con respecto a un flujo totalmente turbulento.



La aplicación de las técnicas de análisis adimensional permite expresar el factor f como una función del número de Reynolds Re y de la rugosidad relativa de las paredes de la tubería, ε :

$$f = F(Re, \varepsilon) \quad \left\{ \begin{array}{l} Re = \frac{V \times Lc}{\nu} \quad (\text{Ec. 9}) \\ \varepsilon = \frac{\varepsilon(o K)}{D} \quad (\text{Ec. 24}) \end{array} \right.$$

Blasius (1911) obtiene de forma experimental una primera expresión de f en función de Re , válida para tubos lisos (aquellos en que ε no afecta al flujo, al quedar las irregularidades cubiertas por la subcapa laminar) hasta $Re < 105$:

$$f = 0,3164 \times Re^{-0,25} \quad (\text{Ec. 25})$$

Prandtl y Von-Karman (1930), partiendo del concepto de longitud de mezcla, perfeccionan la fórmula de Blasius para tubos lisos ampliando su rango de validez:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log \left(\frac{2,51}{Re \times \sqrt{f}} \right) \quad (\text{Ec. 26})$$

Nikuradse (1933) experimenta con tubos rugosos (aquellos en que las pérdidas están dominadas por la rugosidad de las paredes), con rugosidades artificiales obtenidas mediante granos de arena tamizados, llegando a:



$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log \left(\frac{\varepsilon}{3,71 \times D} \right) \quad (\text{Ec. 27})$$

Colebrook-White (1939) quienes consiguen reunir ambas expresiones en una sola, válida para todos los tipos de flujo y rugosidades.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log \left(\frac{\varepsilon}{3,71 \times D} + \frac{2,51}{\text{Re} \times \sqrt{f}} \right) \quad (\text{Ec. 28})$$

Moody (1944) consigue representar la expresión de Colebrook en un ábaco de fácil manejo conocido como el diagrama de Moody (Figura 2.9), que integra el valor de f para todos los tipos de flujos.

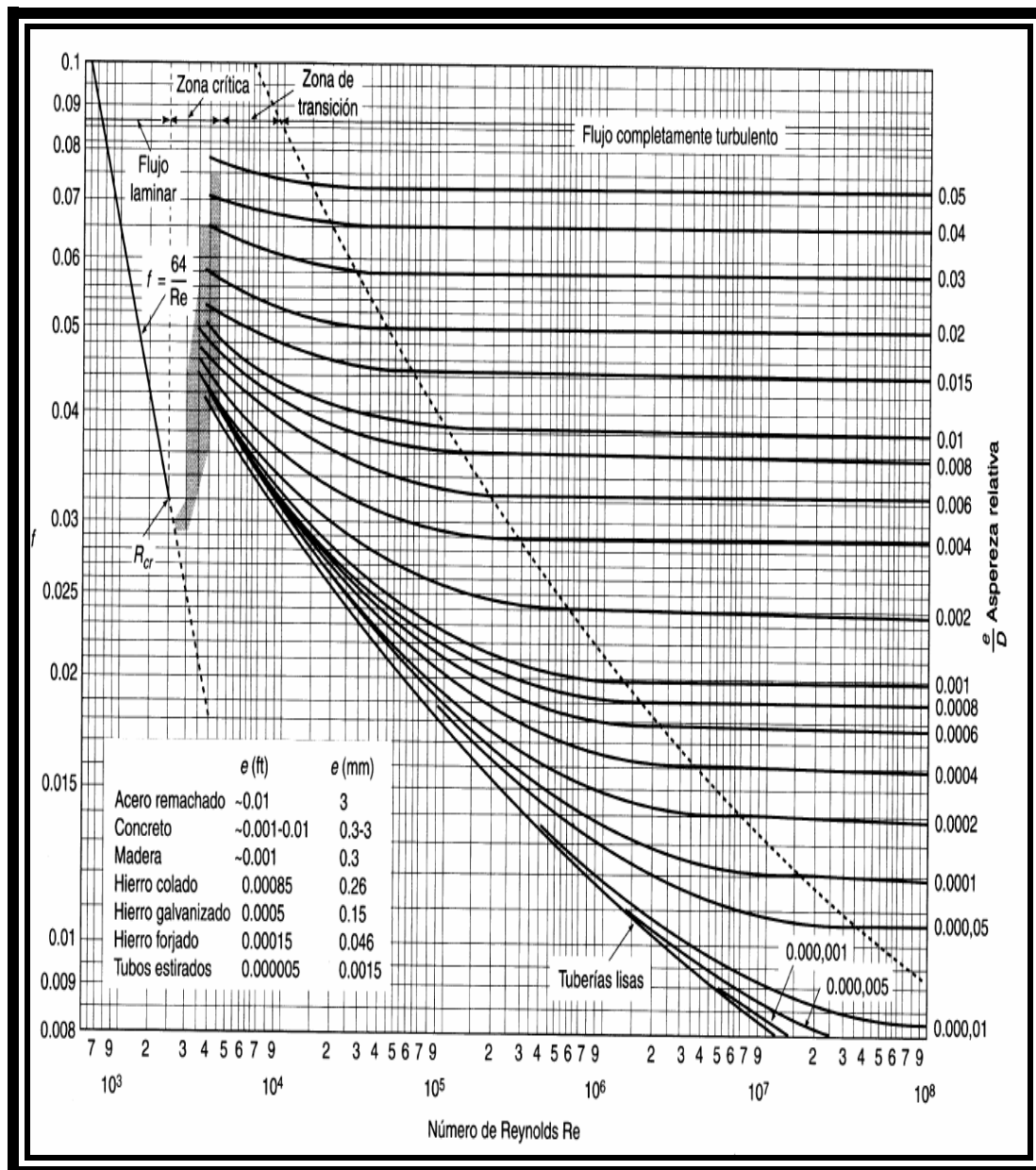


Figura 2.9 Diagrama d Moody. (De L.F. Moody, Trans. ASME, vol. 66, 1944)



El diagrama de Moody (Fig. 2.9) muestra los valores del factor de fricción f frente al número de Reynolds Re , actuando la rugosidad relativa ε como parámetro diferenciador de las diferentes curvas

Las escalas en ambos ejes son logarítmicas, abarcando así un amplio rango de valores para ambas variables. Para $Re < 2000$ el flujo es el laminar y el valor del factor f varía inversamente con el Re : $64/Re$; en consecuencia las pérdidas varían linealmente con Q y la rugosidad relativa no tiene influencia en este caso.

La fórmula de Colebrook White es hoy por hoy la más exacta y universal. Es válida para tubos de pequeño y gran diámetro, superficies lisas y rugosas, caudales bajos y altos, y fluidos de cualquier viscosidad (agua limpia, agua residual, aceites, aire, etc.). Sin embargo es la más difícil de aplicar, pues aparte de la complejidad de su expresión, el cálculo de f requiere efectuar iteraciones. En la década de los 70 se propusieron diversas fórmulas para aproximar explícitamente el valor de f , al objeto de utilizar masivamente la fórmula de Colebrook para el cálculo de redes de distribución.

La fórmula explícita más precisa hoy en día es la de Swamme & Jain (1976), válida para $10^{-6} < \varepsilon < 10^{-2}$ mm y $10^3 < Re < 10^8$, con un error de 1 %.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,71 \times D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (\text{Ec. 29})$$



2.4.3.2 Pérdidas dinámicas

Además de las pérdidas por fricción los elementos adicionales existentes en todo sistema de tuberías, como por ejemplo válvulas, codos, expansiones, etc., introducen pérdidas energéticas adicionales. Los fenómenos de disipación energética, que tienen lugar en estos elementos, son tan complejos que solo pueden ser determinados, en forma efectiva, experimentalmente y se representan mediante un factor de pérdida singular n . La pérdida de carga se representa, al igual que en el caso de pérdidas de carga, como una pérdida de la energía cinética del fluido mediante la siguiente relación:

$$\Delta P_d = \frac{n \times \rho \times V^2}{2} \quad (\text{Ec. 30})$$

Donde:

n : Factor de pérdida de la singularidad

Las pérdidas singulares se pueden expresar también como un equivalente en largo de tubería:

$$\Delta P_d = \frac{n \times \rho \times V^2}{2} = f \times \frac{L_{eq} \times \rho \times V^2}{2 \times D} \quad (\text{Ec. 31})$$

De donde

$$L_{eq} = \frac{n \times D}{f} \quad (\text{Ec. 32})$$



2.4.3.3 Pérdida de carga total

El cálculo de pérdida total se determina en la trayectoria más desfavorable; no obstante, debido a la reducción de velocidad desde la sección inicial hasta la final de la trayectoria más desfavorable, se origina una recuperación de la presión estática (P_r). Ello trae como consecuencia que la pérdida de carga total venga dada por la expresión:

$$\Delta P_t = \Delta P_{td} - P_r \quad (\text{Ec. 33})$$

Donde ΔP_{td} es la pérdida de carga debida a la fricción y los accesorios y P_r es la recuperación estática; que viene dada por:

$$P_r = R \times \left[\left(\frac{V_1}{4005} \right)^2 - \left(\frac{V_2}{4005} \right)^2 \right] \quad (\text{Ec. 34})$$

Donde:

R = coeficiente de recuperación (0,75)

V_1 = velocidad en sección inicial (ppm)

V_2 = velocidad en sección final (ppm).^[3]

2.4.4 Métodos para el dimensionado de ductos

Las dimensiones de los ductos dependen de la máxima velocidad del aire que se puede usar, sin que se produzcan ruidos, vibraciones molestas o excesivas pérdidas de presión por fricción.



Existen tres métodos para el dimensionado de ductos de aire acondicionado:

- a) Método de igual fricción
- b) Método de recuperación estática
- c) Método de reducción de velocidad.

2.4.4.1 Método de igual fricción

También llamado de pérdida de carga constante, consiste en calcular los ductos de forma que tengan la misma pérdida de carga por unidad de longitud. Se inicia con la máxima velocidad permisible en el ducto principal, tomando como base limitaciones de ruido y vibraciones. Progresivamente se ajustan las dimensiones del sistema, a objeto de mantener la caída de presión por unidad de longitud más o menos constante.

Para el diseño de ductos mediante el método de igual fricción se recomienda una caída de presión entre 0,08 y 0,15 pulgadas de agua por cada 100 pies de longitud para flujo de aire hasta 35000 PCM. Un valor cercano a 0,1 se considera aceptable en la mayoría de las aplicaciones. Para flujos entre 35000 y 400000 PCM la caída de presión debe reducirse hasta un rango entre 0,022 y 0,033 pulgadas de agua por cada 100 pies de longitud. Este método no satisface la condición de mantener la misma presión estática en cada derivación en cuyo caso se hace necesario el uso de compuertas de control (dampers).

2.4.4.2 Método de recuperación estática

Con este método las secciones del ducto se dimensionan de tal forma que el aumento en la presión estática debido a un aumento en la velocidad en un tramo, compense la pérdida por fricción en la sección siguiente.



Algunas veces, cuando la fricción es elevada, pueden resultar secciones demasiado grandes para poder compensar la caída de presión resultante. En estos casos la sección transversal no deberá exceder la del ducto del cual se deriva la misma.

2.4.4.3 Método de asignación de velocidades

Este método consiste en escoger la velocidad del aire desde la descarga del ventilador hasta cada uno de los ramales principales y secundarios, siempre dentro de los valores recomendados de velocidad.

Una vez seleccionada la velocidad en cada sección, se procede a dimensionar el ducto en función del flujo de aire correspondiente y se determina la caída de presión en cada tramo.^[8]

2.5 SOPLADORES

Los ventiladores son máquinas destinadas a producir un incremento de presión total ΔP_{total} pequeño; convencionalmente se fija el límite de ΔP_{total} para ventiladores en 1 m.c.a. (metro de columna de agua), o una relación de compresión, $\epsilon_c = 1,1$. Si el incremento de presión no excede el valor indicado, la variación del volumen específico del gas a través de la máquina se puede despreciar en el cálculo de la misma, por lo que el ventilador se comporta como una turbomáquina hidráulica.

En la actualidad, en el diseño se tiene en cuenta la compresibilidad para incrementos de presión muchos menores, hasta 0,3 m.c.a., por lo que los ventiladores, hasta dicho incremento de presión, se pueden diseñar y considerar como una turbomáquina hidráulica.



Los soplantes o turbosoplantes son máquinas destinadas a comprimir gases en donde la relación de compresión está comprendida en el intervalo ($1,1 < \epsilon_c < 3$); no tienen refrigeración incorporada y en general son de un sólo escalonamiento.

En los recuperadores de los altos hornos, por ejemplo, la soplante tiene que impulsar aire a una presión equivalente a la resistencia de la conducción, más la resistencia de las toberas de inyección al interior del horno, con una relación de compresión del orden de $\epsilon_c = 3$, utilizándose en estas circunstancias soplantes de varios escalonamientos, en los que el aire no se refrigera, ya que posteriormente hay que precalentarlo.

El número de revoluciones de las turbosoplantes varía de 3.000 a 21.000 rpm. El ventilador es una bomba rotodinámica de gas que sirve para transportar gases, absorbiendo energía mecánica en el eje y devolviéndola al gas; se distingue del turbocompresor en que las variaciones de presión en el interior del ventilador son tan pequeñas, que el gas se puede considerar prácticamente incompresible.

De todo esto se deduce que las fórmulas relativas al diseño y funcionamiento de las bombas centrífugas son de aplicación a los ventiladores, excepto aquellas que por su naturaleza sean propias de las bombas.

2.5.1 Clasificación de los sopladores

Los ventiladores que se emplean comúnmente se pueden dividir en tres tipos generales, de hélice, axiales y centrífugos. Los ventiladores se pueden disponer con variedad de posiciones de descarga y con rotación del impulsor, ya sea en el sentido de las agujas del reloj o viceversa. Salvo raras excepciones, se pueden proporcionar para acoplamiento directo o para bandas V.



2.5.1.1 Ventilador de hélice

Este ventilador consiste en una hélice dentro de un anillo o marco de montaje. La dirección de la corriente de aire es paralela a la flecha del ventilador. Se emplea para trasladar aire de un lugar a otro, o hacia el ambiente exterior, o para introducir aire fresco. Puede manejar grandes volúmenes de aire a una presión estática baja, raramente a presiones estáticas mayores de 25 mm de c.a. Se fabrica en muchos estilos y tipos para trabajos específicos.

Los ventiladores de extracción (extractores) de uso normal, pueden tener desde 2 hasta 16 aspas, dependiendo ello del funcionamiento particular del ventilador. Generalmente las unidades de poco número de aspas se usan en ventiladores de baja presión y los que cuentan con un número mayor de aspas se emplean en aquellas aplicaciones que requieren presión. El ancho de las aspas, su ángulo, su velocidad axial y número de etapas, son factores todos que intervienen en el diseño y la capacidad.

2.5.1.2 Ventilador axial

El ventilador axial es de diseño aerodinámico; los coeficientes de presión ψ oscilan entre (0,05 y 0,6) pudiendo llegar en algunos diseños hasta 1. Este tipo de ventilador consiste esencialmente en una hélice encerrada en una envolvente cilíndrica. La adición de álabes-guía, detrás del rotor, convierte al ventilador tubo-axial en un ventilador axial con aletas guía. Puede funcionar en un amplio rango de volúmenes de aire, a presiones estáticas que van de bajas a medias y es capaz de desarrollar mayores presiones estáticas que el ventilador tubo-axial y ser más eficiente; los álabes-guía, en la succión o en la descarga, o en ambas partes, se han añadido para enderezar el flujo del aire fuera de la unidad.



Aprovechando la conversión del componente rotativo de la corriente de aire, este ventilador puede alcanzar una presión estática más alta que el de tipo de hélice de aspas rectas, a la misma velocidad axial, y hacerlo más eficientemente. La facilidad de montaje y el flujo del aire en línea recta los hace ideales para muchas aplicaciones; por encima de 75 a 100 mm. de presión estática, los ventiladores axiales se usan pocas veces para servicios de ventilación.

2.5.1.3 Ventilador centrífugo

El ventilador centrífugo consiste en un rotor encerrado en una envolvente de forma espiral; el aire, que entra a través del ojo del rotor paralelo a la flecha del ventilador, es succionado por el rotor y arrojado contra la envolvente se descarga por la salida en ángulo recto a la flecha; puede ser de entrada sencilla o de entrada doble.

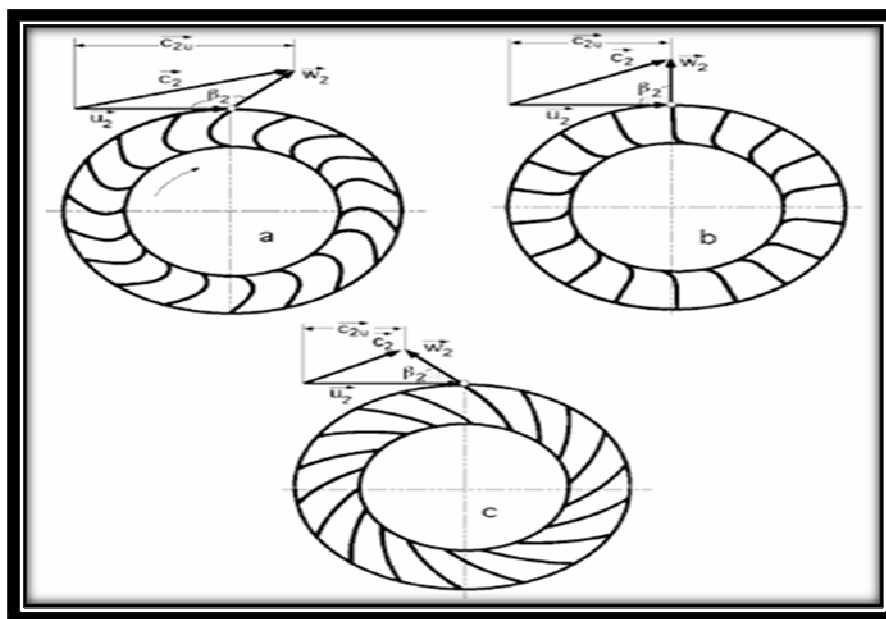


Figura 2.10 Rodetes y triángulos de salida de los ventiladores centrífugos

- a) Con álabes curvados hacia adelante; b) Con álabes de salida radial; c) Con álabes curvados hacia atrás^[3]



Los rotores pueden tener los tres tipos de álabes tal como se representan en la Figura 2.10, donde u_2 es la velocidad del álabe en la salida, w_2 es la velocidad del fluido en la salida y c_2 es la velocidad relativa del aire en función del álabe.

En un ventilador de entrada doble, el aire entra por ambos lados de la envolvente succionado por un rotor doble o por dos rotores sencillos montados lado a lado.

Los rotores se fabrican en una gran variedad de diseños, pudiéndose clasificar, en general, en aquellos cuyas aspas son radiales, o inclinadas hacia adelante, o inclinadas hacia atrás del sentido de la rotación.

2.5.1.4 Formulación

Como el fluido es un gas, la variación de presión es $\Delta p = \rho g H$; la razón que justifica esta práctica es que la altura piezométrica H tiene sentido en los líquidos pero no en los gases; en efecto, al conectar un tubo piezométrico a un conducto de líquido éste se eleva hasta una altura H que depende de la presión, de la densidad del líquido y de la fuerza de la gravedad y que define la superficie libre del líquido o plano piezométrico.

El gas, por el contrario, se escaparía por el tubo a la atmósfera y la presión iría disminuyendo en el interior del tubo piezométrico; la altura dinámica en un líquido se transforma en altura piezométrica medible (tubo de Pitot) pero en los gases no.



Tabla 2.3. Ecuaciones para ventiladores (tomado de CIED, “Ingeniería de Gas (Nivel II)”, Venezuela (1997)).

Denominación	Formulación
Ecuación de Bernoulli	$p_1 + \rho \frac{c_1^2}{2} - \Delta p_z + \sum \Delta p_f = p_2 + \rho \frac{c_2^2}{2}$
Ecuación de EULER (general)	$\Delta p_{u\infty} = \rho (u_2 c_{2u} - u_1 c_{21})$
Entrada sin circulación	$\Delta p_{u\infty} = \rho u_2 c_{2u}$
Ventilador axial	$\Delta p_{u\infty} = \rho u (c_{2u} - c_{21})$
Grado de reacción ideal	$\sigma = \frac{\Delta p_{est,rod \infty}}{\Delta p_{u\infty}}$
Grado de reacción real	$\sigma_{real} = \frac{\Delta p_{est,rod}}{\Delta p_{u \text{ total}}}$
Presión suministrada por el Ventilador	$\Delta p_{total} = p_s - p_e + \rho \frac{c_s^2 - c_e^2}{2}$
Presión estática	$\Delta p_{estática} = p_s - p_e$
Presión dinámica	$\rho \frac{c_s^2 - c_e^2}{2}$
Rendimiento hidráulico	$\eta_h = \frac{\Delta p_{tot}}{\Delta p_u} (\Delta p_u - n^\circ \text{ finito ideal de álabes})$
Potencia suministrada	$N = Q \Delta p_{total}$
Rendimiento total en condiciones totales	$\eta_{total} = \frac{Q \Delta p_{tot}}{N_{accionamiento}} = \frac{Q \Delta p_{tot}}{N_a}$
Rendimiento total en condiciones estáticas	$\eta_{total} = \frac{Q \Delta p_e}{N_a}$
Coefficiente de presión	$\psi = \frac{\Delta p_{total}}{\rho \frac{u^2}{2}}$



2.5.1.5 Curva característica de los ventiladores

Si se considera el ventilador como una bomba rotodinámica de gas, el trazado de sus curvas características se puede hacer de la misma forma que el de las bombas centrífugas. Sin embargo, habrá que tener en cuenta las siguientes observaciones:

- a) Las curvas (H_{man} , Q) se sustituyen por las curvas (Δp_{tot} , Q) siendo Δp_{tot} la presión total suministrada por el ventilador.
- b) Los valores medidos de Q y de Δp_{tot} se suelen reducir a condiciones normales o a los estándares. En un ensayo bien hecho siempre hay que especificar a qué condiciones normales se refiere el ensayo, o al menos a qué presión barométrica y a qué temperatura ambiente se ha realizado.
- c) En un gran número de aplicaciones interesa más la presión estática del ventilador que la presión total; en un ventilador con un sistema difusor eficiente la presión dinámica es muy pequeña y la Δp_{est} se acerca mucho a la Δp_{tot} .

En la Figura 2.11 se han trazado las curvas características de cuatro tipos distintos de ventiladores, expresando todas las variables en % del valor nominal o de diseño, a fin de poder comparar más fácilmente los distintos tipos, observándose que:

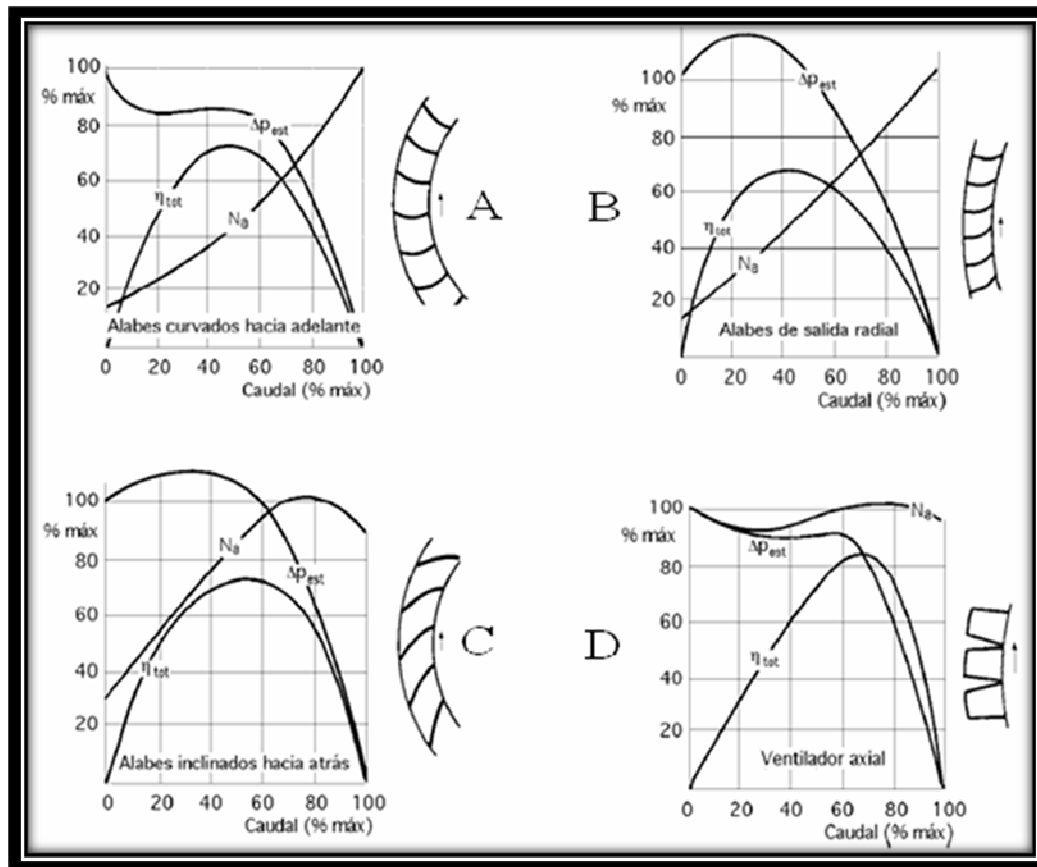


Figura 2.11 Curvas características típicas de ventilador, a) Con álabes curvados hacia adelante; b) Con álabes de salida radial; c) Con álabes curvados hacia atrás; d) Con álabes axiales.^[3]

La potencia de accionamiento N_a en los ventiladores de álabes curvados hacia adelante, Figura 2.11-a, aumenta constantemente con el caudal (característica de potencia con sobrecarga); mientras que en los ventiladores con álabes curvados hacia atrás y en los ventiladores axiales la potencia no supera, Figura 2.11-d, o solo ligeramente (en un 10% aproximadamente en la Figura 2.11-c, el valor en el punto nominal o de diseño. La sobrecarga se refiere al motor de accionamiento que en la Figura 2.11-a deberá tener una reserva de potencia, incluso hasta el 100% de la potencia de accionamiento.



La curva característica de potencia de los ventiladores de salida radial figura 2.11-b, presenta características intermedias entre las de los ventiladores con álabes curvados hacia adelante y hacia atrás, como era de esperar. La potencia absorbida en el arranque es mínima en los ventiladores centrífugos Figura 2.11-a.b.c y máxima o casi máxima en los ventiladores axiales Figura 2.11-d.

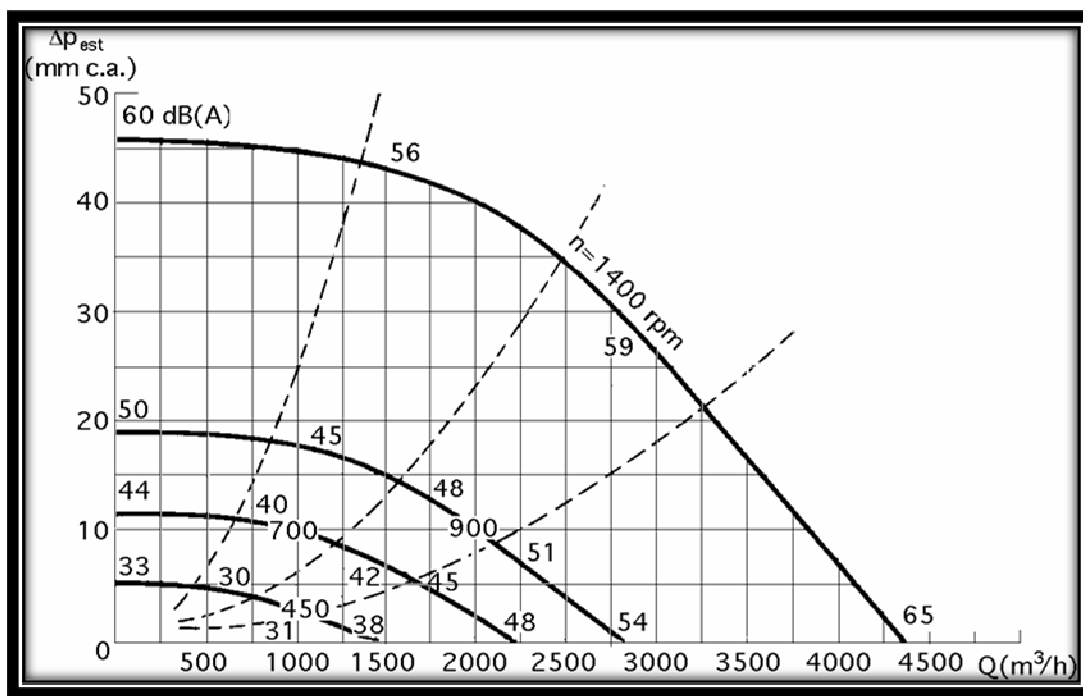


Figura 2.12 Curvas características de un ventilador de hélice.^[3]

Las curvas de la Figura 2.12 para un número de revoluciones n variable corresponden a un pequeño ventilador, para instalación en el techo, de potencia inferior a 1 kW. Los números sobre las curvas indican los valores en Decibeles del ruido del ventilador cuando funciona en dicho punto.

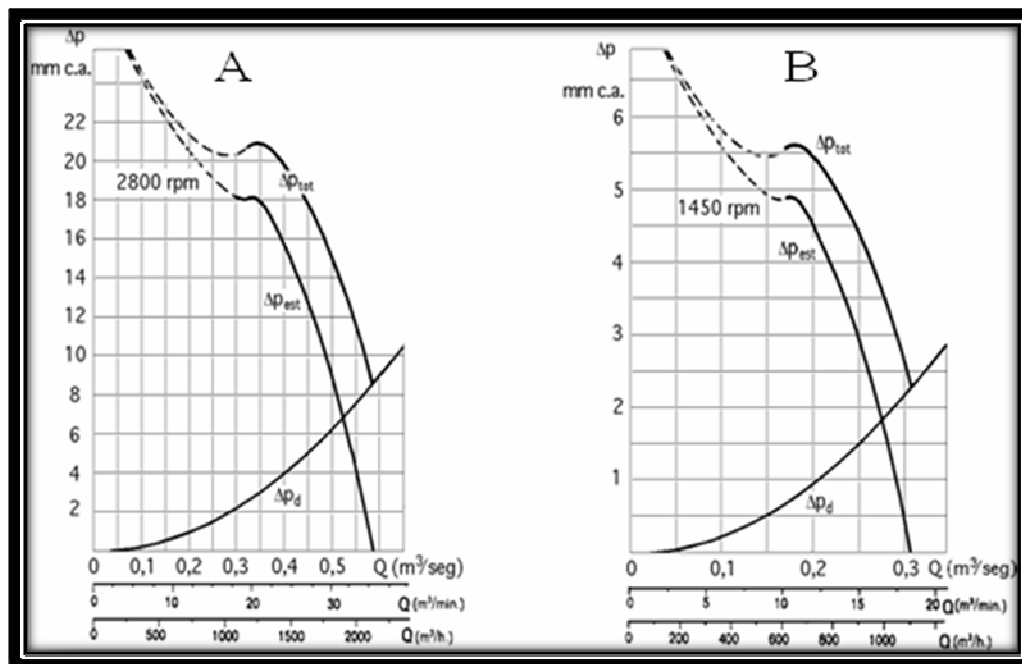


Figura 2.13 Curvas características de un ventilador axial, a) a 2800 rpm;
b) a 1450 rpm.^[3]

Las curvas de la figura 2.13a son curvas de Δp_{est} , Δp_{tot} y Δp_d , en función del caudal para un n° de revoluciones constante (2800 rpm) de un pequeño ventilador axial. Mientras que para un ventilador axial con álabes direccionales la curva de funcionamiento se pueden observar en la figura 2.14.

Los ventiladores axiales se pueden construir:

- Con álabes del rodete fijos y álabes directrices orientables
- Con álabes del rodete fijos sin álabes directrices orientables
- Con álabes del rodete orientables y álabes directrices orientables
- Con álabes del rodete orientables sin álabes directrices orientables^[3]

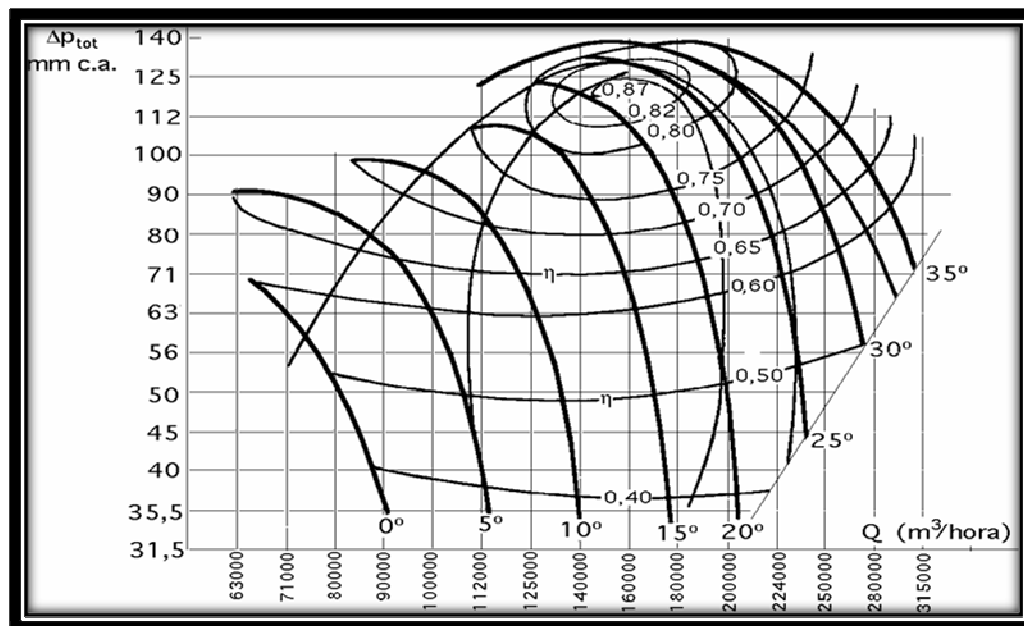


Figura 2.14 Curvas características de un ventilador axial con álabes del rodete orientables.^[3]

2.6 GENERADORES ELÉCTRICOS

Los generadores eléctricos cumplen la función de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de los puntos. A cada uno de los puntos se los denomina polos o bien terminales. Cabe mencionar que en electrónica (o electrotecnia, más específicamente) se denomina polaridad a la cualidad que posibilita realizar una distinción entre cada uno de los puntos terminales de una pila, batería o cualquier otra máquina que funcione de manera eléctrica con una corriente continua.

Dichos polos, a su vez, pueden ser calificados como positivos o bien como negativos. Si nos remontamos atrás en el tiempo, es importante hacer alusión a que antes de que se descubriera lo contrario, la corriente eléctrica era considerada como un flujo de portadores de carga eléctrica y de que los metales se constituían en electrones con la disponibilidad de transportar o circular desde una terminación



negativa hasta una de índole positiva. Posteriormente, la corriente eléctrica fue definida como un flujo también, pero de cargas positivas y de esta forma se adquirió un significado más tradicional la circulación de la corriente, ya relacionada con un flujo de cargas que van desde un polo positivo hasta un polo negativo.

Los generadores eléctricos son, en esencia, dispositivos que además se ocupan de transformar toda aquella energía que es mecánica en energía eléctrica. Este proceso de transformación se logra gracias a que un campo magnético realiza una determinada acción sobre los conductores eléctricos, que se encuentran dispuestos sobre una especie de armadura, a la que se conoce con el nombre de estator. Por otro lado, es importante destacar que si se produce de manera mecánica un movimiento de gran relatividad entre los conductores y el campo mismo, entonces ahí se genera la llamada fuerza electromotriz.

2.6.1 Clasificación de los generadores eléctricos

Los generadores eléctricos como dispositivos de transformación de energía se dividen en dos grupos importantes. Por un lado, tenemos a los dispositivos de índole primario y, por el otro, los que son de origen secundario.

2.6.1.1 Generadores primarios

En el primer caso, se trata de aquellos que pueden convertir en energía eléctrica toda la energía que reciben (que se corresponde con otra naturaleza; ya sea mecánica, química, etc.) o toda la energía que tiene ya de por sí en su constitución, entre estos generadores se tienen:



La Energía mecánica es:

- o Triboelectricidad
 - Cuerpos frotados
 - Máquinas electrostáticas
- o Piezoelectricidad

Energía magneto-mecánica:

- o Corriente continua: Dinamo
- o Corriente alterna: Alternador

Energía química:

- o Pila eléctrica

2.6.1.2 Generadores secundarios

En el segundo caso, estamos hablando de aquellos que entregan una parte de la energía que recibieron anteriormente.

2.6.2 Piezoelectricidad

Como en el caso de los generadores primarios, es posible destacar al proceso de piezoelectricidad. Esto es un fenómeno que se puede percibir en ciertos cristales pero no en cualquier circunstancia, sino cuando son sometidos a tensiones mecánicas, donde adquieren una polarización de índole eléctrica en la masa de los cristales. Lo que aparece, de esta manera, es una diferencia de potencial y de cargas eléctricas, especialmente en la superficie de los mismos. Dicho fenómeno, a su vez, puede presentarse de otra forma. Es decir, los cristales pueden deformarse como resultado de una acción de fuerzas internas, en especial cuando son expuestos a un campo eléctrico.



Cabe decirse que este accionar piezoeléctrico puede ser reversible, particularmente cuando se deja de someter a los cristales al campo eléctrico o al voltaje exterior. Si se produce esto, entonces dichos cristales podrán recuperar su forma. Los materiales, además, no cuentan con un centro de simetría y el proceso de compresión consiste en que se disocien los centros de gravedad, tanto de las cargas positivas como de las cargas negativas. También es posible hacer una división de dichos materiales: por un lado, los piezoeléctricos y, por el otro, los ferroeléctricos, que cuentan con propiedades piezoeléctricas, pero en el instante en que son sometidos al proceso de polarización al que ya nos hemos referido.

Sin embargo, este es un ejemplo de transformación de energía de categoría mecánica. Pasemos a ver un ejemplo de otro tipo de generadores eléctricos de energía primaria, que tiene relación con el cambio electromagnético. En este grupo podemos encontrar al denominado efecto fotoeléctrico. Se trata de la emisión de electrones a través de un material, cuando a éste se lo ilumina con una radiación electromagnética, como el caso de la luz ultravioleta o de la luz visible. En este proceso se pueden incluir otros como la fotoconductividad, que es el aumento de la conductividad eléctrica de una materia particular o de unos diodos, producto del efecto o accionamiento de la luz. Otro efecto es el llamado fotovoltaico, que se relaciona con la transformación (de manera parcial) de la energía luminosa en energía eléctrica.

2.6.3 Obtención de la energía eléctrica

El proceso de generación de energía eléctrica es el de transformación a partir de generadores. Y para que haya una transformación, debe haber una fuente que se tome como base para realizar el cambio. Dicha fuente es toda energía que sea considerada como no eléctrica. En este grupo entran las siguientes energías: térmica, mecánica, luminosa y química, entre otras.



Este cambio en la energía se lleva a cabo en inmediaciones apropiadamente denominadas centrales eléctricas, las cuales realizan tan solo los primeros pasos del proceso. Los siguientes se corresponden ya al suministro de la energía que ha sido generada, es decir, todos los pormenores del transporte y la distribución.

En cuanto a esa fuente que se toma para la transformación, se la conoce con el nombre de fuente primaria. La naturaleza de la misma es la que va a condicionar el tipo de central de generadores de energía. Por ejemplo, la central termoeléctrica genera energía eléctrica a partir de energía expulsada en forma de calor por la combustión de gas o petróleo, por mencionar algunos ejemplos. En el caso de la central generadora nuclear, en la misma se ejecuta el proceso de transformación de energía nuclear en energía eléctrica.

En las centrales eólicas se utiliza la energía cinética que genera la corriente de aire; en las centrales mareomotrices, la energía que surge de las mareas, etc. Pero a pesar de las diferencias en el rasgo distintivo de la fuente primaria, todas estas centrales que poseen generadores de energía eléctrica tienen en su haber, como dispositivo clave, el elemento generador de energía. El mismo está formado, básicamente, por un alternador. Se trata de una máquina que es la que termina de realizar la transformación de la fuente o energía primaria en energía eléctrica.

El proceso que emplea es el de inducción, que produce el voltaje, también llamado fuerza electromotriz. Lo que se genera a través de la inducción es una corriente eléctrica cuya magnitud y dirección están en permanente variación cíclica. A esta corriente se la conoce con el nombre de corriente alterna. El alternador, entonces, siempre debe contar con un elemento inductor generador del campo magnético y un elemento pasivo, sometido, inducido, que siempre estará atravesado de par en par por las fuerzas emanadas del campo magnético.



Cabe mencionar que el alternador no podrá funcionar sin la acción de una máquina de fluido, comúnmente conocida como turbina, que va a fluctuar en sus características según las características de la energía primaria que se va a transformar, de ahí que haya una turbina especial para cada central que posea generadores de energía eléctrica.^[9]

2.7 SERVICIO ELÉCTRICO

Venezuela es uno de los países con mayor grado de electrificación en América Latina; más del 94% de su población dispone de servicio eléctrico. Esto es el resultado de un esfuerzo realizado por el Estado Venezolano y una significativa concurrencia de empresas privadas.

El Sector Eléctrico Venezolano está estructurado en forma mixta, integrado por empresas públicas y privadas. En los dos ámbitos, los lineamientos de política son dictados por el Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo, órgano supremo en materia de energía a nivel nacional, a través de su Dirección de Electricidad.

Por otro lado, la planificación del sector ha obedecido al entendimiento entre las principales empresas eléctricas que firmaron en 1968 el contrato de interconexión, el cual fue modificado en 1988 cuando, además de CADAPE, EDELCA y la Electricidad de Caracas, se incorporó ENELVEN. El Estado Venezolano ha emprendido el diseño de un Plan Energético Nacional como parte fundamental del Plan Económico, con la finalidad de asegurarle al país la prestación de un servicio eléctrico al menor costo posible y con la mayor calidad, que permita la óptima utilización de los recursos disponibles y que, al mismo tiempo, garantice continuidad, seguridad y eficiencia.



Igualmente se diseñó una nueva Ley del Servicio Eléctrico, la cual tiene por objeto establecer las disposiciones que regirán el servicio eléctrico en el Territorio Nacional, el cual no había contado con una normativa legal integral que ordenara clara y metódicamente las disposiciones generales aplicables a esta materia.

2.7.1 Tarifas del servicio eléctrico

Los costos para la disposición y uso de la energía eléctrica están enmarcados en una Tarifa por servicios. La Tarifa es una estructura de Precios que sirve de base para el cobro del servicio de electricidad. Las tarifas del Sector Eléctrico son reguladas por el Estado, a través del Ministerio de Energía y Petróleo (MEP). Las tarifas vigentes están publicadas en la Gaceta Oficial Nro. 37.415 del 03 de Abril de 2002 y en el caso de los Estados Monagas y Delta Amacuro en la Gaceta Oficial Nro. 36.629 del 26 de Enero de 1999.

Además de las tarifas, hay dos factores que se ajustan periódicamente previa autorización del MENPET que son: FAP (Factor de Ajuste de Precios) y CACE (Cargo por Ajuste de Combustible y Energía). Los montos están expresados en Bolívares antiguos ya que por reconversión monetaria el redondeo se aplica sólo a los totales en cada caso.

- Factor de Ajuste de Precios (FAP): Considera los cambios de las variables macroeconómicas que inciden en el costo del servicio eléctrico. Es provisto por el Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo.
- Cargo por Ajuste en los Precios de los Combustibles y de La Energía Comprada (CACE): Considera las variaciones en el precio de los combustibles



utilizados para la generación de las compras de energía y es provisto por el Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo.

Los montos están expresados en Bolívars antiguos ya que por reconversión monetaria el redondeo se aplica sólo a los totales en cada caso.

2.7.1.1 Usuarios Residenciales

Exclusivamente para el servicio permanente, destinado a usos domésticos en residencias o viviendas particulares.

- **Residencial Social (T-01):** Consumo menor a 200 Kwh/Mes. Los primeros 200 Kwh tienen un costo de Bs. 1.770,00 (1,77 BsF). El resto del consumo por 71,24 Bs/Kwh. Corriente alterna de 60 Hz, baja tensión, en las tensiones y número de fases disponibles en la zona.

Se aplicará individualmente a cada residencia, apartamento o vivienda cuando se trate de casa de vecindad, edificios de apartamentos o casa con dos o más viviendas. Se aplica siempre y cuando el consumo del cliente no exceda los 200 Kwh/Mes, si excede por dos meses consecutivos, se le aplicará el próximo periodo Tarifa 02.

- **Residencial General (T-02):** Consumo menor a 500 Kwh/Mes. Los primeros 100 Kwh tienen un costo de Bs. 2.622,00 (2,62 BsF). Los siguientes 200 Kwh cuestan 79,78 Bs/Kwh. Los siguientes 200 Kwh tienen un costo de 89,52 Bs/Kwh y el resto del consumo 97,95 Bs/Kwh. Corriente alterna de 60 Hz, baja tensión, en las tensiones y número de fases disponibles en la zona.



- **Residencial Alto Consumo (T-03):** Consumo mayor a 500 Kwh/Mes. Con derecho a 500 Kwh/Mes con un costo de Bs. 41.202,00 (41,20 BsF). El resto del consumo por 111,16 Bs/Kwh. Corriente alterna de 60 Hz, baja tensión, en las tensiones y número de fases disponibles en la zona.^[10]

2.8 ESTUDIO ECONÓMICO

2.8.1 Inversión inicial

La inversión inicial es aquella que está compuesta por todos aquellos activos fijos, sin incluir el capital de trabajo.

2.8.2 Costos de Montaje

Estos se refieren a los costos de la mano de obra directa e indirecta, así como los costos originados por mantenimiento.

2.8.2.1 Costos de mano de obra directa

Son los costos de utilización de mano de obra para el ensamblaje del sistema de ductos, estos costos incluyen el pago de setenta y cinco días de prestaciones.

2.8.2.2 Costo de mano de obra indirecta

Es la necesaria en el departamento de producción, pero que no interviene directamente en la transformación de las materias primas. En este rubro se incluyen: personal de supervisión, jefes de turno, todo el personal de control de calidad y otros.



2.8.2.3 Costo mantenimiento

Es un servicio que se contabiliza por separado, en virtud de las características especiales que pueda presentar. se puede dar mantenimiento preventivo y correctivo al equipo. El costo de los materiales y la mano de obra que se requieran, se cargan directamente a mantenimiento, pues puede variar mucho en ambos casos.

Para la realización de los costos de mantenimiento en el primer año, este se estimó utilizando un 1 % del costo de adquisición de todos los equipos de acuerdo a las teorías de mantenimiento; ya que los equipos presentan poco mantenimiento según los fabricantes.

2.8.3 Inversión inicial total

La inversión inicial total toma como referencia a los recursos económicos totales necesarios para la instalación y operación del sistema total y está constituida por la inversión inicial y costo de montaje, así como el estimado para las pruebas de funcionamiento.^[1]

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL PROYECTO

En este capítulo se explicarán las actividades realizadas para llevar a cabo los objetivos que fueron planteados, de tal manera que se pueda recopilar toda la data necesaria para el diseño de un sistema de ventilación natural para producir energía eléctrica en edificaciones multifamiliares. Estas etapas se presentan de acuerdo a la secuencia de las actividades realizadas en el proyecto.

3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para la ejecución de este proyecto se realizó una serie de actividades orientadas a la búsqueda de toda la información relacionada con los fundamentos teóricos y definiciones que enmarcan el estudio, para lo cual se revisaron textos, manuales, tesis, base datos meteorológicos de la zona norte del estado Anzoátegui, catálogos de equipos mecánicos.

3.2 RECOPIACIÓN DE LOS REGISTROS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL VIENTO ENTRE BARCELONA Y PUERTO LA CRUZ, ESTADO ANZOÁTEGUI

Los registros de las características del viento entre Barcelona y Puerto la Cruz son una base de datos que lleva la estación meteorológica 80419 de la Fuerza Aérea Nacional, ubicada en el Aeropuerto Internacional José Antonio Anzoátegui de Barcelona Estado Anzoátegui, mediante el cual permiten establecer en promedio un patrón de comportamiento de las caracterizas del viento.



Después de estudiar y analizar los datos aportados por la estación meteorológica 80419 de la Fuerza Aérea Nacional y tomando en cuenta la geografía y la estructura urbanística, se determinaron los valores mínimos y los promedios de las características del viento a fin de establecer un comportamiento más o menos constante que garantice la funcionalidad del proyecto.

3.3 DETERMINACION DEL CONSUMO ELECTRICO EN UNA EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR DE CUARENTA Y OCHO APARTAMENTOS

Una vez recopilados los datos sobre las características del viento y habiendo determinado en promedio el comportamiento mínimo del viento se procedió a definir el edificio modelo como una edificación multifamiliar de doce pisos con cuatro apartamento por piso que permita evaluar la viabilidad y factibilidad de este sistema de producción de energía eléctrica. Se tomo un edificio de doce pisos, con cuatro apartamentos tipos, clase media, como factor que permita evaluar la propuesta, por cuanto se pueda establecer que un edificio de estas características enmarca a un buen prototipo multifamiliar típico. Y a demás esta altura es favorable para los requerimientos de velocidades del viento requerido.

3.3.1 Edificación modelo

Para la determinación del consumo eléctrico de la edificación modelo se estableció una estructura de once pisos más la planta baja (Figura 3.1), que incluyeron:

- a) Ascensores (2)
- b) Iluminación de las escaleras auxiliares
- c) Iluminación de los pasillos de cada piso
- d) Iluminación en los alrededores de la edificación.



- e) Dos bombas de agua para el suministro en la edificación



Figura 3.1 Edificación multifamiliar modelo.

3.3.2 Apartamento modelo

Para la determinación del consumo eléctrico del apartamento modelo se estableció un amoblado con equipos y aparatos electrodomésticos como se indica en la tabla 3.1



Tabla 3.1 Equipos y artefactos electrodomésticos del apartamento modelo (Datos aportado por la empresa Eleoriente C.A.).

COMPONENTE	CANTIDAD	COMPONENTE	CANTIDAD
Bombillos en la cocina	2	Televisores	3
Bombillos en la sala	2	Dvd	1
Bombillos en baño	2	Computadora	1
Bombillos en cuartos	3	Lámpara de mesa	1
Ventilador	1	Plancha	1
Nevera	1	Lavadora	1
Horno microondas	1	Secadora	1
Licuadora	1	Calentador	1
Tostiarepa	1	Secador de cabello	1
Radio reproductor	1	Aire Acondicionado de 18.000 BTU	3

Luego de establecer el equipamiento del apartamento modelo se procedió al cálculo del consumo eléctrico total del apartamento tomando en cuenta el consumo individual de cada equipo y artefacto electrodoméstico. Cabe destacar que para el cálculo del consumo eléctrico en el apartamento modelo se utilizaron los datos proporcionados por la empresa ELEORIENTE C.A. que establecen el consumo eléctrico de artefactos electrodomésticos.

3.4 SELECCIÓN DEL SISTEMA TURBINA-GENERADOR ELÉCTRICO

Después de haber determinado el consumo eléctrico de una edificación multifamiliar de cuarenta y ocho apartamentos y manteniendo un margen de seguridad que proporcione el abastecimiento del servicio en las horas de mayor demanda, se llevó a



cabo la selección del generador eléctrico que satisfaga dicha demanda de carga eléctrica en la edificación.

Actualmente en el mercado mundial se encuentran a la disposición numerosos modelos de generadores eléctricos, cada uno adecuado para satisfacer la demanda que así requiera el consumidor.

Posteriormente a la selección del generador eléctrico se procedió a la selección del soplador. Cabe destacar que para este caso de estudio el soplador es utilizado de manera inversa, es decir, como un extractor accionado por el viento, el cual permitía absorber la energía cinética del aire y así poder transformarla en energía mecánica de rotación. Las características del flujo del viento en la salida del ducto proporcionaron las condiciones que son necesarias para la puesta en marcha de la turbina centrífuga multietapas.

3.5 DISEÑO DEL DUCTO

Luego de haber determinado las condiciones del flujo de viento para el cual el soplador accionara el generador eléctrico se procedió diseño del ducto el cual se baso partiendo de lo siguiente:

- a) Las condiciones del viento en la descarga del ducto (condiciones del viento en la entrada del soplador).
- b) Las condiciones del viento en la entrada del ducto (condiciones ambientales)
- c) El caudal del flujo de aire

Luego de conocer los diferentes métodos por el cual se realizan los diseños de ductos, se llevo a cabo la selección del método de asignación de velocidad. Esta selección del método se baso debido a las altas velocidades del flujo y a la falta de



cartas y tablas que se aplican en métodos con velocidades de flujo muy inferiores que facilitan y simplifican los cálculos.

Posteriormente de establecer las condiciones del flujo en la entrada y salida del ducto se procedió a la asignación arbitraria de velocidades partiendo de la velocidad mayor en la salida del ducto de manera decreciente hasta alcanzar el valor de la velocidad menor en la entrada del ducto, que es la velocidad normal del viento tal como se indica en la tabla 4.4, Luego de conocer los valores de la velocidad de flujo para cada tramo del ducto así como también el caudal, se determinó el diámetro de la tubería mediante la Ec. 10. Mediante la Ec. 17 y proponiendo una altura de sección transversal para cada tramo del ducto se determinó la anchura para cada tramo correspondiente del mismo ducto. Posteriormente para cada sección transversal diferente del ducto se calcularon el valor del Número de Reynolds, el valor de la Rugosidad Relativa del ducto, el valor del Factor de Fricción mediante las ecuaciones 9, 24 y 29 respectivamente para luego determinar mediante la ecuación 19 el valor de la pérdida de carga o de fricción por cada metro de tubería.

3.6 EVALUACIÓN DEL COLECTOR DE AIRE

Después de haber dimensionado el ducto se procedió a diseñar el colector de aire, basándose en:

- a) Las dimensiones del ducto en la entrada.
- b) La dirección promedio dominante del viento.
- c) Las condiciones de espacio disponible en la platabanda de la edificación.

Posteriormente se estudiaron captadores de geometría pentagonal con cinco entradas, circular con tres entradas y circular con cuatro entradas, a fin de aprovechar al máximo la energía del viento de acuerdo a sus variaciones de dirección, la geometría del volumen fue creada en el programa SolidWork, y luego exportada al



programa Ansys Workbench como formato IGES (figura 3.2). Luego, Se procedió a realizar el mallado del volumen exportado, a través del modulo Ansys CFX-mesh incorporado en el mismo Ansys Workbench (a manera de ilustración se presenta el colector de geometría pentagonal para los siguientes pasos).

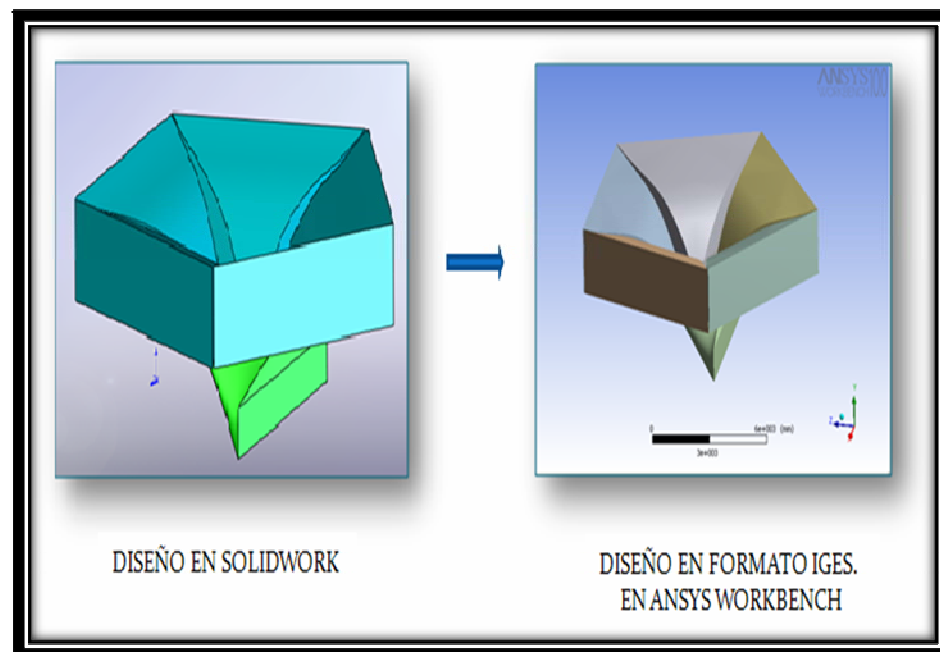


Figura 3.2 Geometría del captador de aire.

Se definieron las superficies de condición de frontera como se indica en la figura 3.3 (entradas y salidas). Se aplicó inflación en las entradas con un número de capas igual a 5, partiendo de la primera con una separación de 30 mm y un factor de expansión de 1,2.

Se refinó la superficie que tomamos como interface entre los dominios con una resolución angular igual 18. Se crearon dos dominios, uno que representa los perfiles de entrada y otro que representa en perfil de salida, se tomaron las siguientes condiciones para crear los dominios:





- Tipo de dominio: fluido
- Tipo de fluido: Aire a 25 C
- Presión de Referencia: 1 atm
- Estado : Estacionario
- Modelo de Turbulencia: Zero equation

Posteriormente se asumió una primera orientación del volumen con respecto a la dirección del viento predominante, en ésta se seleccionó tres entradas con tres posibles salidas como se muestra en la figura 3.3. Y finalmente se configuró la simulación para un máximo de 100 iteraciones y un nivel de convergencia de 0,0001.

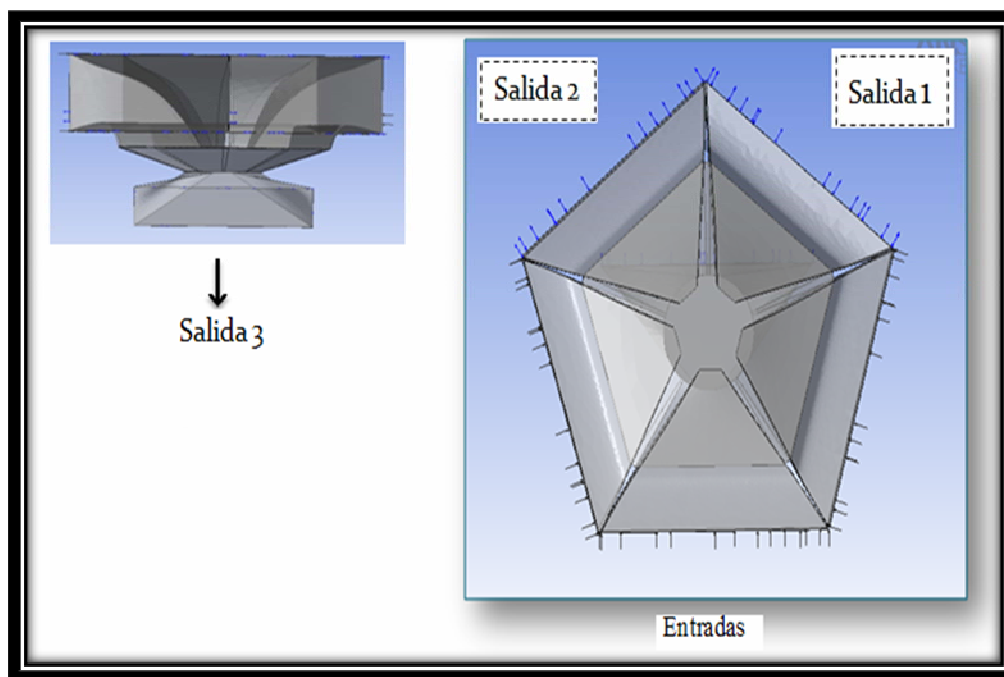


Figura 3.3 Dominios del colector de aire.



3.7 ESTUDIO ECONÓMICO PARA EVALUAR LA POSIBLE FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

El estudio económico se realizó para determinar cuál será la inversión inicial necesaria para la adquisición del sistema de ducto, el generador eléctrico, el soplador y otros equipos y materiales, así como también los costos en que se incurrirá al colocar el sistema en funcionamiento, además de la evaluación económica para la posible factibilidad de considerar al proyecto como rentable dada ciertas condiciones estimadas, para ello se conto con la colaboración de la empresa Eleoriente C.A. división de generación oriental.

Posteriormente a la evaluación del colector se determinaron los costos de: adquisición, montaje, mano de obra directa e indirecta y mantenimiento para así establecer el costo de la inversión inicial total. Se estableció un lapso de 15 años para realizar este estudio económico, luego se determino el costo de mantenimiento para los próximos 15 años considerando una inflación constante del 25% mediante el método del valor presente. Después de obtener los costos de mantenimiento del sistema se calculo el costo para producir la energía eléctrica requerida por el apartamento modelo y por la edificación. Posteriormente para el lapso de 15 años de estudio se incrementaron los costos de la tarifa del servicio suministrado por CADAFE-ELEORIENTE a razón de 5% anual según recomendaciones de la propia empresa. Luego se determino el costo que se pagaría por la disponibilidad y utilización del servicio electico suministrado por dicha compañía.

Por último se realizó una comparación entre el costo de generar energía eléctrica mediante el sistema ducto-turbina-generador eléctrico y el costo por el uso y servicio de esta misma cantidad de energía proporcionada por CADAFE-



ELEORIENTE para determinar la posible rentabilidad del proyecto si se decidiese a construir.

3.7.1 Inversión inicial

La inversión inicial es aquella que está compuesta por todos aquellos activos fijos, sin incluir el capital de trabajo. En estos precios están incluidos los costos de fletes por traslados de los equipos desde y hacia cualquier lugar del mundo.

3.7.2 Costos de Montaje

Estos se refieren a los costos de la mano de obra directa e indirecta, así como los costos originados por mantenimiento. Todos estos costos fueron estimados basándose en la tasa de inflación proyectada por el Banco Central de Venezuela en los próximos cuatro años.

3.7.2.1 Costos de mano de obra directa

Son los costos de utilización de mano de obra para el ensamblaje del sistema. Estos costos incluyen el pago de setenta y cinco días de prestaciones.

3.7.2.2 Costos de mano de obra indirecta

Es la necesaria en el departamento de producción, pero que no interviene directamente en la transformación de las materias primas. En este rubro se incluyen: personal de supervisión, jefes de turno, todo el personal de control de calidad y otros.

3.7.2.3 Costos de mantenimiento



Es un servicio que se contabiliza por separado, en virtud de las características especiales que pueda presentar, se puede dar mantenimiento preventivo y correctivo al equipo.

El costo de los materiales y la mano de obra que se requieran, se cargan directamente a mantenimiento, pues puede variar mucho en ambos casos.

Para la realización de los costos de mantenimiento para el primer año, este se estima utilizando un 1 % del costo de adquisición de todos los equipos, ya que estos presentan poco mantenimiento según cada uno de los fabricantes. También incluye los costos de personal para la operabilidad y monitoreo del sistema.

3.7.3 Inversión inicial total

La inversión inicial total toma como referencia a los recursos económicos totales necesarios para la instalación y operación del sistema total y está constituida por la inversión inicial y costo de montaje, así como el estimado para las pruebas de funcionamiento.

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONDICIONES DEL VIENTO ENTRE BARCELONA Y PUERTO LA CRUZ, ESTADO ANZOÁTEGUI

Como se indico anteriormente, una vez realizada la recopilación de información de las características del viento; dirección prevaleciente y velocidad prevaleciente (tabla 4.1 y 4.2), en la zona norte del Estado Anzoátegui, principalmente entre Barcelona y Puerto La Cruz, según la Estación meteorológica 80419, se determinaron la velocidad mínima mensual y promedio mensual prevaleciente, la dirección promedio mensual prevaleciente (tabla 4.3), la velocidad promedio mínima anual, la velocidad promedio anual y la dirección promedio anual prevaleciente (tabla 4.4).

Tabla 4.1 Dirección del Viento medido en grados con respecto al norte geográfico (datos aportados por la estación meteorológica 80.419).

MES	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
ENE	000	020	180	030	020	020	020	000	020
FEB	000	020	000	030	000	030	020	020	020
MAR	000	020	000	030	000	000	020	020	020
ABR	000	020	000	030	020	000	000	000	000
MAY	000	000	180	030	000	000	000	000	000
JUN	000	140	180	030	000	000	000	020	000
JUL	180	180	180	140	140	130	000	140	000
AGO	180	180	180	180	140	000	000	140	000
SEP	160	180	180	180	180	110	110	180	110
OCT	140	180	180	180	180	110	000	140	000
NOV	160	270	180	030	180	000	020	000	020
DIC	140	180	180	030	000	130	020	140	020



Tabla 4.2 Velocidad del Viento (Km/h, datos aportados por la estación meteorológica 80.419).

MES	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
ENE	10.1	9.9	9	9	9.4	9.2	9.4	9.2	10.4
FEB	9.7	8.2	10.8	11	9.9	10.6	8.6	9.7	10.1
MAR	10.1	10.4	10.1	10.4	10.7	10.1	10.8	10.2	11.2
ABR	10.4	10.7	10.8	9.4	10	10	11.2	10.9	10.8
MAY	9.2	9.6	9	10.1	8.5	10.2	7.9	9.8	8.3
JUN	7.6	8.3	8.3	8.5	7.5	9	7.6	7.5	7.3
JUL	7.9	7.6	7.2	8.1	7.4	7.7	6.8	7.7	7.9
AGO	7.9	7.8	8.3	8.2	8.1	8.2	8.6	8.3	7.6
SEP	8.6	9	8.6	8.6	8.4	8.2	9.7	9.1	8.3
OCT	8.3	8.9	7.9	7.9	8.4	8.6	9	9	8.5
NOV	7.9	7.6	8.3	8.6	8.5	9.4	8.6	8.2	7.1
DIC	8.3	8.3	8.3	7.9	8.3	7.9	8.3	8.7	8.6

Tabla 4.3 Características del Viento (velocidad mínima, velocidad promedio y dirección promedio mensual).

MES	Velocidad mínima Prevaliente (Km/h)	Velocidad promedio prevaliente (Km/h)	Dirección promedio Prevaliente (Grados respecto al Norte)
ENE	9	9.6	037
FEB	8.2	9.8	016
MAR	10.1	10.5	012
ABR	9.4	10.5	010
MAY	7.9	9	023
JUN	7.3	8	041
JUL	7.2	7.8	106
AGO	7.6	8.1	111
SEP	8.2	8.7	154
OCT	7.9	8.5	123
NOV	7.1	8.2	096
DIC	7.9	8.3	093



Tabla 4.4 Comportamiento promedio anual del Viento.

Velocidad mínima anual (Km/h)	7.1
Velocidad promedio anual (Km/h)	8.9
Dirección promedio anual (Grado respecto al Norte)	68.5

Cabe destacar que la velocidad del viento presenta picos mínimos y máximos a lo largo del año como lo son de 7,1 km/h en Noviembre y de 7,8 en Julio respectivamente, así como lo indica la figura 4.1, estas fluctuaciones son de carácter natural y no predecible con exactitud, aun cuando las mediciones se realizaron aproximadamente entre los 3 y 10 metros sobre el nivel del mar (sobre en una planicie abierta con poca interrupción geográfica para el flujo del aire como las que presentan las colinas y montañas), son variables a medida que se incrementa la altura. Al igual que la velocidad, la dirección fue medida bajo las mismas condiciones, a diferencia de la velocidad del viento, el comportamiento de la dirección está enmarcado entre las corrientes intercontinentales de los vientos y los cambios de temperatura.

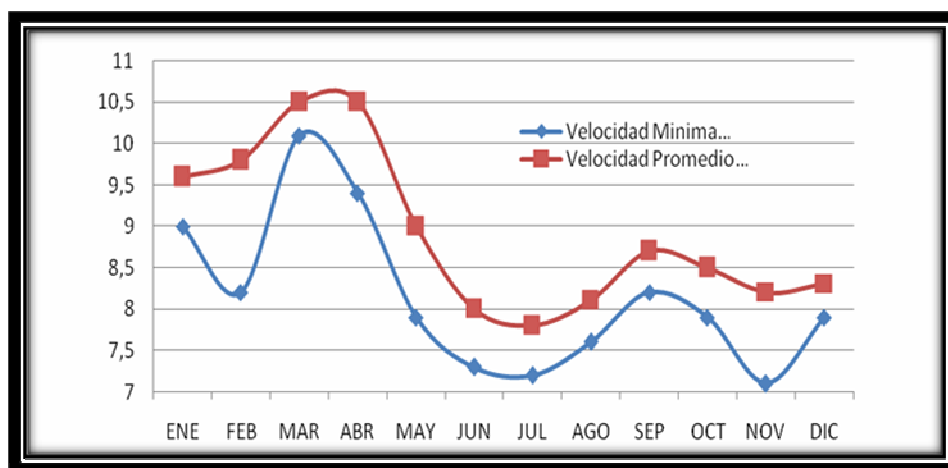


Figura 4.1 Velocidad del aire en funcion del mes en el año.



4.2 CONSUMO ELÉCTRICO EN LA EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR DE CUARENTA Y OCHO APARTAMENTOS

Luego de haber realizado las descripciones de las características del viento correspondiente a la zona norte del Estado Anzoátegui, específicamente entre Barcelona y Puerto la Cruz, de recopilar las características en cuanto a consumo eléctrico de los artefactos y equipos electrodomésticos más comúnmente usados en el hogar, se procedió a amoblar un apartamento de uso familiar de clase media conservadoramente ahorrativa con los equipos y artefactos electrodomésticos básicos como se indico en la tabla 3.1.

En la tabla 4.5 se aprecia el consumo eléctrico o demanda energética del apartamento modelo, esta es la cantidad de energía que se requiere para el funcionamiento de todos los equipos y artefactos electrodomésticos en un mismo instante.

Cabe destacar que dicha cantidad de energía no es demandada de manera constante a lo largo de todo el día, siendo las horas pico (entre 6:00 am y 7:00am, 11:00 am y 1:00 pm, 6:00 y 9:00 pm) las de mayor demanda.



Tabla 4.5 Demanda energética del apartamento modelo.

COMPONENTE	WATTS	CANTIDAD	CARGA (WATTS)
Bombillo en la cocina	22	2	44
Bombillo en la sala	22	2	44
Bombillo en baño	22	2	44
Bombillo en cuartos	22	3	66
Nevera	750	1	750
Horno microondas	700	1	700
Licuadaora	250	1	250
Radio reproductor	100	1	100
Televisores	500	3	1500
Dvd	100	1	100
Computadora	500	1	500
Lámpara de mesa	12	1	12
Plancha	1200	1	1200
Lavadora	300	1	300
Secadora	5300	1	5300
Calentador	1500	1	1500
Secador de cabello	750	1	750
Aire acondicionado 18.000 Btu	3020	3	9060
Demanda energética total			22220

Después de haber determinado el consumo del apartamento modelo, se logró determinar el consumo del edificio multifamiliar como se indica en la tabla 4.6 tomando en cuenta y empleando un factor de seguridad de 1.5 (por recomendaciones de la empresa Eleoriente) a fin de obtener un rango de demanda mayor para evitar posibles insuficiencias en el suministro energético.



Tabla 4.6 Demanda eléctrica máxima de la edificación multifamiliar en un instante de tiempo dado.

COMPONENTE	WATTS	CANTIDAD	CARGA (KW)
Apartamento	22220	48	1.067
2 Ascensores	7700	2	15,4
Luz en escaleras (12 pisos)	22	24	0,528
Luz en doce pasillos (12 pisos)	22	24	0,528
Luz en planta baja	22	20	0,440
Luz en estacionamiento	22	20	0,440
Sistema de Bombeo de Aguas Blancas	12000	3	36
Total			1.120,34
Factor de Seguridad (N=1,5)			1.680,51
Demanda total			≈ 1.680,51

Para el consumo total mensual del apartamento modelo (tabla 4.7) y de la edificación (tabla 4.8), se establecieron las horas de funcionamiento diarias y mensuales de cada componente eléctrico, dando como resultado una equivalencia aproximada de las mediciones que realizan los medidores eléctricos de cada apartamento y de la edificación.

Tabla 4.7 Consumo eléctrico del apartamento modelo.

	CARGA (KW)	KWH/DIA	KWH/MENSUAL
Apartamento	22,22	108,058	3.241,74



Tabla 4.8 Consumo eléctrico de la edificación multifamiliar.

	CANTIDAD	CARGA (KW)	KWH/MENSUAL
Apartamento	48	1.067	155.603,52
Edificio	1	53,34	19.202,4
Subtotal			174.805,92
Factor de seguridad (n=1.5)			262.208,88
Total			262.208,88

4.3 SISTEMA TURBINA-GENERADOR ELÉCTRICO

Tomando en cuenta la cantidad de energía aproximada que necesita en un instante dado la edificación como si indica en la tabla 4.6, se logró seleccionar de un amplio mercado de equipos para la generación eléctrica un generador eléctrico capaz de suministrar dicha demanda tomando en cuenta el costo de adquisición y disponibilidad.

El generador seleccionado es de la casa Marathon Electric con certificación ISO 9002 (Figura 4.2) que comprende un rango de desempeño de entre 118 a 2370 kW (en 60 Hz) y de 134 a 2400 kVA (en 50 Hz) tal como lo especifica el catálogo del fabricante. El número del modelo del generador seleccionado es el 744FSL4062, cuyas características y especificaciones técnicas y de instalación se pueden apreciar en el anexo A.

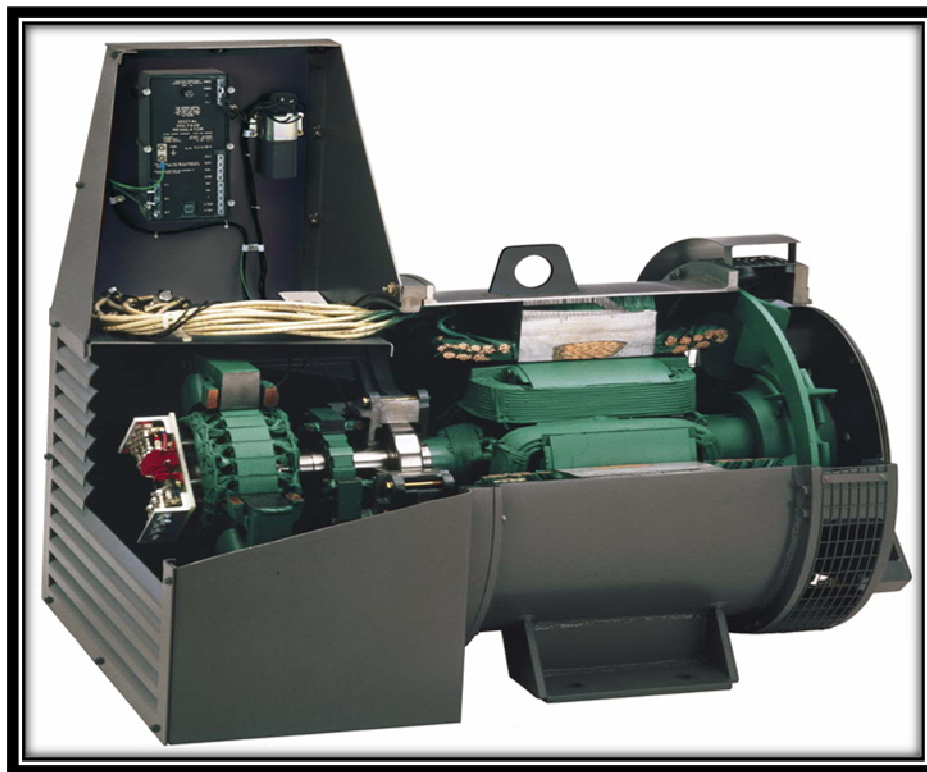


Figura 4.2 Generador Eléctrico Marathon Electric MAGNAMAX DVR.

Luego de conocer las características para el funcionamiento del generador eléctrico, los costos de adquisición y con el fin de aprovechar en un máximo la energía suministrada por el viento se selecciono una turbina o soplador (blower) de múltiples etapas existente en el mercado. La turbina seleccionada es de la casa HOUSTON SERVICE INDUSTRIE INC (figura 4.3).

El número de serie del modelo de turbina o de soplador centrífugo multietapas seleccionado es el 186, cuyas características y especificaciones técnicas se observan en el anexo B.



Figura 4.3 Soplador Centrifugo Multietapas HSI serie 186.

Posteriormente, tomando en cuenta que son equipos rotativos y considerando las tolerancias de vibraciones operacionales tanto del generador como del soplador y bajo recomendaciones del fabricante del generador eléctrico, el sistema turbina-generador eléctrico para su óptimo funcionamiento se acoplan mediante un sistema de bandas de goma en paralelo como se observa en la figura 4.4.

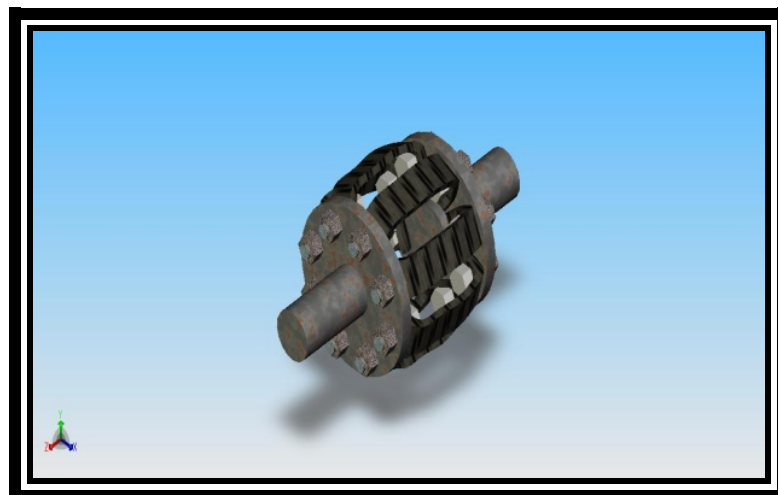


Figura 4.4 Sistema de acople de bandas de goma entre el generador eléctrico y la turbina multietapas .



4.4 DIMENSIONADO DEL DUCTO

Una vez conocidas las propiedades del aire que son requeridas para el accionamiento del soplador centrífugo multietapas, se diseñó un sistema de ducto.

En el sistema de ducto las propiedades del aire al final o a la descarga son iguales a las propiedades del aire en la entrada del soplado; y considerando las propiedades del aire en su estado natural (la entrada del captador) se procedió al diseño del sistema de ducto mediante el método de reducción de velocidad (anexo C-1). El área de sección transversal para el sistema de ducto se estableció de forma rectangular a fin de ocupar el mínimo espacio posible y de no entorpecer la estética de la estructura multifamiliar modelo como se observa en el anexo C-2.

El ducto diseñado consta de: 8 tramos rectos de longitud L y de sección transversal rectangular $a \times b$ (tabla 4.9), 8 reducciones rectas de longitud L y de secciones transversales rectangulares $a \times b$ y $A \times B$ (tabla 4.10), 1 codo de 90° y 2 codos de 45° (tabla 4.11), las figuras de las partes del ducto se pueden apreciar en el apéndice C-1.

Tabla 4.9 Medidas de tramos rectos del ducto.

TRAMO	LONGITUD L (m)	BASE b (m)	ALTURA a (m)	DIAMETRO EQUIVALENTE (pulg)
1	3	3,2	1,2	92
2	2,6	2,3	1,2	72
3	2,8	1,5	1,2	58
4	2,8	1,25	1	48
5	2,8	1,25	0,75	41
6	2,8	0,9	0,6	31
7	2,8	0,75	0,45	25
8	2,8	0,6	0,4	21



Tabla 4.10 Medida de reducciones rectangulares del ducto.

REDUCCION	LONGITUD L (m)	BASE B (m)	ALTURA A (m)	BASE b (m)	ALTURA a (m)
1	0,75	3,2	1,2	2,3	1,2
2	0,75	2,3	1,2	1,5	1,2
3	0,75	1,5	1,2	1,25	1
4	0,75	1,25	1	1,25	0,75
5	0,75	1,25	0,75	0,9	0,6
6	0,75	0,9	0,6	0,75	0,45
7	0,75	0,75	0,45	0,6	0,4
8	0,75	0,6	0,4	0,45	0,4

Tabla 4.11 Medida de codos del ducto.

CODO	ANGULO	BASE b (m)	ALTURA a (m)	DIAMETRO (m)
1	90	2,3	1,2	
2	45	0,45	0,4	
3	45	0,45	0,4	0,46

4.5 EVALUACIÓN DEL COLECTOR DE AIRE

Luego de realizar el diseño del captador de aire quedo una incertidumbre; ¿funcionara el diseño? Para responder a esta pregunta se le realizó al diseño del captador una evaluación mediante una simulación numérica utilizando la técnica CFD (Dinámica de Fluidos Computacional) mediante el software ANSYS CFX.



Conociendo la dirección promedio prevaleciente del flujo de aire en la zona de estudio se orientó el captador de tal manera que una de sus 5 entradas se encontrara en un sentido perpendicular al flujo a fin de aprovechar en un máximo la recepción del mismo dando como resultado que 2 de las 4 entradas restantes se ubicarán en un ángulo de 162° con respecto a la dirección del flujo como se observa en la figura 4.5.

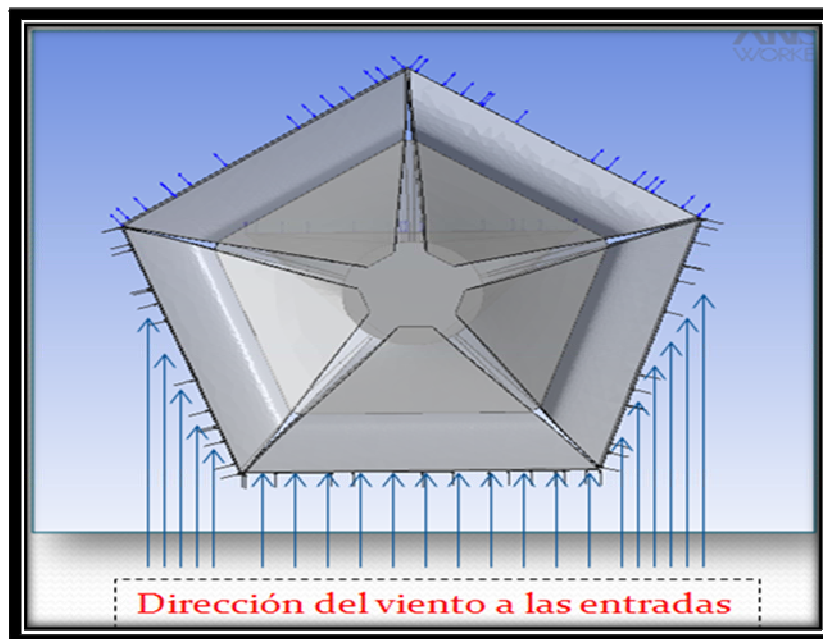


Figura 4.5 Ubicación del captador en relación a la dirección del flujo.

Los datos obtenidos mediante la simulación para la salida se observan en la tabla 4.12. La simulación se llevó a cabo hasta alcanzar un nivel de convergencia de 0,0001 (ver anexo D).



Tabla 4.12 Velocidad del viento en la salida del colector.

UBICACIÓN	VELOCIDAD DEL VIENTO Km/h
ENTRADA	7
SALIDA	15

La trayectoria del flujo dentro del colector se puede observar en la figura 4.6, se aprecia una pequeña parte del flujo que entra por las 3 entradas sale por las 2 entradas restantes mientras que la mayor parte se dirige hacia la abertura de descarga como era de esperarse. Esta pérdida de flujo es despreciable en comparación con el caudal que entra al captador y que se dirige hacia la salida y se debe a la geometría del diseño.

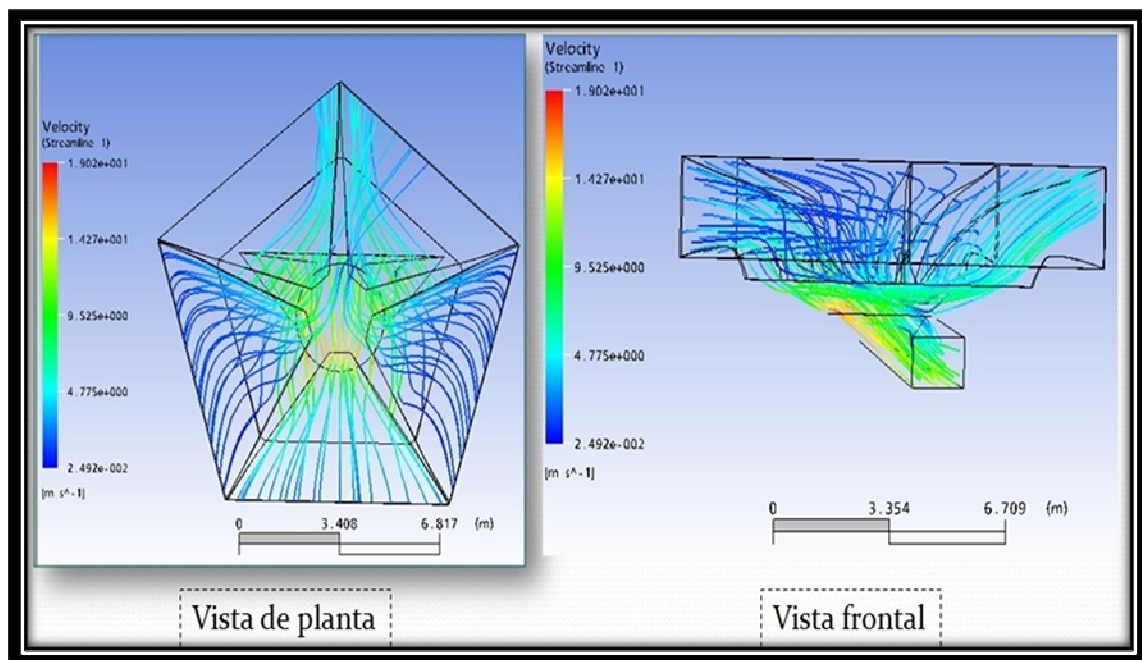


Figura 4.6 Comportamiento del flujo en el interior del colector.



4.6 FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

En la tabla 4.13 se pueden observar los costos de los equipos (inversión inicial) que serán necesarios para la puesta en marcha del proyecto, cabe destacar que estos precios se obtuvieron a través de la empresa Marathon Electric, Houston Service Industrie y Construcciones Hierro Duro C.A. En estos precios están incluidos los costos de fletes por traslados de los equipos desde Estados Unidos de América hacia Venezuela y hasta el lugar donde serán instalados, para esta información se conto con la colaboración de Puertos de Anzoátegui y la Oficina Técnica Aduanera, C.A. Oteca.

Tabla 4.13 Costo de equipos.

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (BsF)	COSTO TOTAL (BsF)
GENERADOR ELECTRICO	1	83.850,00	83.850,00
TURBINA HSI	1	55.900,00	55.900,00
SISTEMA DE DUCTO	1	60.000,00	60.000,00
TOTAL			199.750,00

Luego de determinar el costo de la inversión inicial para la adquisición de los equipos se determinaron los costos de montaje (tabla 4.14) que incluyen los costos de mano de obra directa e indirecta así como también los costos por mantenimiento.

Para la realización de los costos de mantenimiento para el primer año, este se estimo utilizando un 1 % del costo de adquisición de todos los equipos como se mencionó en el capítulo 2 página 60.



Al comparar el costo de inversión inicial total con el costo de mantenimiento, se logró asegurar que el mantener el sistema en funcionamiento es relativamente bajo, ya que el mantenimiento sólo dependerá del aceite necesario para lubricar las partes móviles del sistema turbina-generator eléctrico, así como del panel de control del generador eléctrico.

Tabla 4.14 Inversión inicial total.

TIPO	COSTO BsF
Inversión inicial	199.750,00
Mano de obra directa	12.000,00
Mano de obra indirecta	3.500,00
Mantenimiento	25.000,00
TOTAL	240.250,00

Como se puede apreciar el costo de la inversión total de 240.250,50 BsF puede parecer alto, pero al dividirlo entre la cantidad de apartamentos (48) de la edificación se obtiene que el costo de inversión inicial por apartamento es de 5.005,21 BsF para el primer año (417,10 BsF mensual).

Es importante destacar que dadas las características del proyecto, la estimación de los costos de mantenimiento para los próximos 15 años se realizó considerando una inflación del 30 %, la cual se considero constante (tabla 4.15), esto se realizó con la única intención de comparar los costos de mantenimiento del sistema, con las tarifas del servicio eléctrico proporcionado por CADAPE-ELEORIENTE.



Tabla 4.15 Estimación de costos por mantenimiento.

PERIODO	COSTO DE MANTENIMIENTO ANUAL (BsF)	COSTO POR APTO ANUAL (BsF)	COSTO POR APTO MENSUAL (BsF)
2009	25.000,00	520,83	43,40
2010	32.500,00	677,08	56,42
2011	42.250,00	880,21	73,35
2012	54.925,00	1.144,27	95,36
2013	71.402,50	1.487,55	123,96
2014	92.823,25	1.933,82	161,15
2015	120.670,23	2.513,96	209,50
2016	156.871,29	3.268,15	272,35
2017	203.932,68	4.248,60	354,05
2018	265.112,48	5.523,18	460,26
2019	344.646,23	7.180,13	598,34
2020	448.040,10	9.334,17	777,85
2021	582.452,13	12.134,42	1.011,20
2022	757.187,77	15.774,75	1.314,56
2023	984.344,10	20.507,17	1.708,93

La tarifa del servicio eléctrico convencional se pueden observar en la tabla 4.16, los cuales fueron estimados considerando un 20% de incremento anual según recomendación de la propia empresa.

Tabla 4.16 Tarifa del servicio eléctrico convencional.

PERIODO	BsF/KWH	PERIODO	BsF/KWH
2009	0,130	2017	0,559
2010	0,156	2018	0,671
2011	0,187	2019	0,805
2012	0,225	2020	0,966
2013	0,270	2021	1,159
2014	0,323	2022	1,391
2015	0,388	2023	1,669
2016	0,466		



Luego, se realizó una comparación entre el costo de la tarifa del servicio eléctrico convencional y el costo por apartamento para generar esta misma energía con el sistema de estudio (tabla 4.17).

Tabla 4.17 Estimación de costo de producción.

PERIODO	TARIFA DEL SERVICIO CONVENCIONAL BSF/KWH	COSTOS DEL SERVICIO GENERADO BsF/KWH	COSTO POR APARTAMENTO DEL SERVICIO GENERADO BsF/KWH
2009	0,130	2,854	0,059
2010	0,156	3,710	0,077
2011	0,187	4,823	0,100
2012	0,225	6,270	0,131
2013	0,270	8,151	0,170
2014	0,323	10,596	0,221
2015	0,388	13,775	0,287
2016	0,466	17,908	0,373
2017	0,559	23,280	0,485
2018	0,671	30,264	0,630
2019	0,805	39,343	0,820
2020	0,966	51,146	1,066
2021	1,159	66,490	1,385
2022	1,391	86,437	1,801
2023	1,669	112,368	2,341

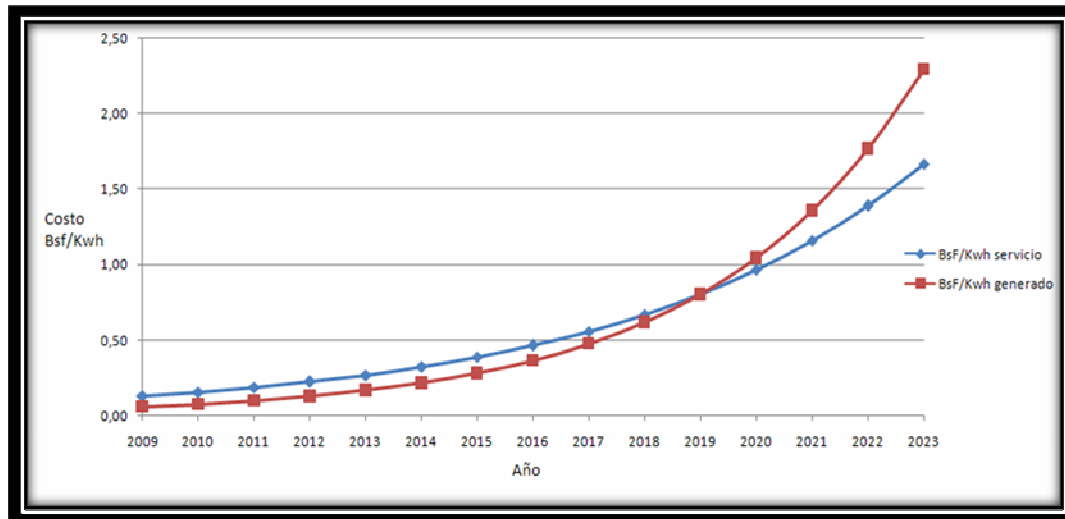


Figura 4.7 Tendencia del costo del servicio eléctrico en comparación con los generados por el sistema en función del año.



4.7 CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los datos de la Estación Meteorológica 80419 de la Fuerza Aérea Nacional Venezolana las condiciones del viento no presenta una variación significativa a lo largo de todo el año esto debido a la orografía del lugar.
2. Las condiciones del viento en el borde próximo a la zona costera son mejores que las condiciones en la Estación Meteorológica 80419 en cuanto a su velocidad, por ello se dispone de suficiente fuerza eólica para proporcionar la puesta en marcha del sistema.
3. La carga eléctrica de la edificación multifamiliar alcanza sus máximos entre las 6.00 am y 7:30 am, 11:00 am y 1:00am, 6:30 pm y 9:00 pm. y es de 1.605 KW
4. El diseño del ducto resultó viable ya que no entorpece con la estética de la edificación, por lo que es conveniente su fabricación,
5. La geometría del colector de aire es aceptable ya que se aprovecha un 92 % del flujo total que ingresa en el.
6. Los costos de mantenimiento son menores que la tarifa del servicio convencional asumiendo los valores de inflación constante de 30% para los gastos generados y de 20 % en la tarifa eléctrica, por ello se asume que el sistema es económicamente rentable y factible.



4.8 RECOMENDACIONES

1. Emplear pintura anticorrosiva marina tipo pintura cromato de zinc a la estructura de sujeción del captador y del ducto.
2. Realizar periódicamente análisis corrosivo, físico-químico al captador-ducto así como también a los álabes del soplador.
3. Cubrir con láminas de corcho la sala de máquinas a fin de mitigar el ruido que pudiera ocasionarse.
4. Colocar en la entrada de cada captador una rejilla para evitar la entrada de animales y suciedades sólidas arrastradas por el viento que pudiesen afectar el funcionamiento del sistema.
5. Realizar un estudio para el almacenamiento de la energía mediante equipos fotovoltaicos en caso de que las condiciones del viento no sean óptimas para la puesta en marcha del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. Mago, **“Desarrollo de Metodologías de Aprovechamiento de Energía Eólica Aplicadas a Viviendas Ecológicas en Guayacán Estado Sucre”**, Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui, Departamento de Mecánica, Octubre 2002.
- [2] Ib. Troen y E. Lundtang, **“El Atlas Eólico Europeo”**, Editorial Comisión de las comunidades europeas, Dinamarca (1990).
- [3] P. Fernandez y I. Fernandez, **“Energía Energética”**, Universidad de Cantabria 2002. Dispñible en: <http://www.Termica.webhop.info>
- [4] **“Elementos Aerológicos que afectan nuestro vuelo”**, © Copyright 2006. Disponible en: <http://www.arrakis.es/~mapfre918978544/aerologia.htm>
- [5] B. Neilsens y V. Landkab, **“La Energía Eólica y el medio ambiente”**, Editores Aarhus 1996.
- [6] **“Carrier Air Conditioning Companing”**, Manual del aire acondicionado. Editorial Marcombo S.A. 1990.
- [7] **“Manual de Conductos de Aire Acondicionado Climaver”**, España, 1ª edición Enero 2007. Disponible en: <http://www.isover.net/asesoria/manuales/>

- [8] E. Rodríguez, **“Ventilación y Aire Acondicionado”**, Puerto la Cruz Mayo 2003.
- [9] **“Recursos eólicos, la tecnología de Aerogeneradores, economía y aspectos ambientales de la energía eólica”**, Copenhague Dinamarca, Actualizado el 4 de mayo 2003. Disponible en: <http://www.windpower.org/es/tour/wres/index>.
- [10] **“Tarifas y servicios”**, © Copyright 2008 - 2009 - CADAFE. Compañía Anónima de Administración y Fomento Eléctrico. Filial de la Corporación Eléctrica Nacional CORPOELEC. Todos los derechos reservados. Disponible en: http://www.cadafe.com.ve/tarifas_servicios.php.

BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

- Grupo ENDESA, **“DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA EÓLICA”**, 1998.
- Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental, **“TEMA 4, VENTILACIÓN”**, Washington U.S.A. 1986. Disponible en: <http://www.bvsde.opsoms.org/arquitectura/clase42/clase42.htm#mediciondelviento>.
- D. Le Gourières, **“ENERGÍA EÓLICA”**, Ediciones Masson S.A., Barcelona 1983.
- P. F. Díez, **“ENERGÍA EÓLICA”**, Art. Revista Metalúrgica y Electricidad 1980.
- CIED, **“Ingeniería de Gas (Nivel II)”**, Venezuela (1997).

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	“DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN NATURAL PARA PRODUCIR ENERGÍA ELÉCTRICA EN EDIFICACIONES MULTIFAMILIAR”
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CVLAC / E MAIL
CARDOZO ROA EBERTH ALBERTO	CVLAC: 15.970.936 E MAIL: Eberth.a.cardozo.r@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Energía Eólica, Ventilación, Diseño de Ductos, Carga Eléctrica, Generador Eléctrico, Ventiladores.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS	INGENIERIA MECÁNICA
	ENERGÍA EÓLICA

RESUMEN (ABSTRACT):

Se aplicó un estudio del viento en la zona norte del estado Anzoátegui, específicamente entre Barcelona y Puerto la Cruz, con la finalidad de determinar la viabilidad y factibilidad para la producción de energía eléctrica en edificaciones multifamiliar sin causar contaminación visual en el paisajismo urbano. Se especificó: una edificación multifamiliar de cuarenta y ocho apartamentos y un apartamento modelo. Se determinó que la carga eléctrica del apartamento modelo es de 22,22 KW y de la edificación multifamiliar se encuentra en el orden de 1.605 KW. Se seleccionó generador eléctrico Marathon Electric con certificación ISO 9002, modelo numero 744FSL4062. Se seleccionó la turbina centrífuga multietapas HSI 186 (HOUSTON SERVICE INDUSTRIE) para el accionamiento del generador eléctrico. Se diseñó el sistema de ducto mediante el método de Asignación de Velocidad, se diseñó el captador de aire, su diseño se evaluó con una simulación numérica mediante el software ANSYS CFX. El estudio de factibilidad se realizó comparando los costos de producir 1.605 KW mediante el sistema estudiado y los costos de la tarifa eléctrica publicada en la Gaceta Oficial Nro. 37.415 del 03 de Abril de 2002.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS <u>X</u>	TU <u>X</u>	JU
Chacón, Oroncio	CVLAC:				
	E_MAIL	oroncio66@hotmail.com			
	E_MAIL				
Estaba, Richard	ROL	CA	AS	TU	JU <u>X</u>
	CVLAC:				
	E_MAIL	richard_estaba@hotmail.com			
	E_MAIL				
García, Francisco	ROL	CA	AS	TU	JU <u>X</u>
	CVLAC:				
	E_MAIL	garciacova@gmail.com			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2009	07	23
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS.Eberth_Cardozo.doc	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L M
N O P Q R S T U V W X Y Z . a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z . 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 .

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero. Mecánico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

PRE-GRADO

ÁREA DE ESTUDIO:

Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**DERECHOS**

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo quien lo participará al Consejo Universitario.”

AUTOR

TUTOR

JURADO

JURADO

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS