



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**DISEÑO DE UN AEROGENERADOR**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**  
**P R E S E N T A:**  
**J O R G E G A R C Í A S E P U L V E D A**

**ASESOR: DR. VÍCTOR HUGO HERNÁNDEZ GÓMEZ**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

**ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS**

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



**DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE**

**ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ**  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis :

Diseño de un Aerogenerador

que presenta el pasante: Jorge García Sepúlveda  
con número de cuenta: 08807843-0 para obtener el título de :  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

**ATENTAMENTE**  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 2 de diciembre de 2009

<b>PRESIDENTE</b>	<u>Ing. Albino Arteaga Escamilla</u>	
<b>VOCAL</b>	<u>Dr. Víctor Hugo Hernández Gómez</u>	
<b>SECRETARIO</b>	<u>Dr. Oscar Ibañez Orozco</u>	
<b>PRIMER SUPLENTE</b>	<u>Ing. Fernando Fierro Tellez</u>	
<b>SEGUNDO SUPLENTE</b>	<u>Ing. Alberto Cruz Osnaya</u>	

---

## AGRADECIMIENTOS

### **A DIOS.-**

AUNQUE NO TENGO PALABRAS PARA DARTE LAS GRACIAS POR LA FORTALEZA QUE HASTA HOY ME HAS DADO, SEGURO ESTOY QUE SIN TI NO HUBIERA SIDO POSIBLE Y SIN LA GUIANZA DE TU SANTO ESPÍRITU A QUIEN PIDO ME SIGA REDARGUYENDO PARA NO COMETER NADA QUE ME AVERGÜENCE... BENDITO SEAS

### **A MI MADRE.-**

POR TU GRAN EJEMPLO DE INTEGRIDAD Y TU VALIOSA ENSEÑANZA DE LAS COSAS QUE REALMENTE TIENEN VALOR EN LA VIDA... ES DE ESTA MANERA QUE FORMASTE MI CARÁCTER.

### **A MI ESPOSA.-**

POR TU GRAN AMOR, CONFIANZA Y PACIENCIA DURANTE ESTOS AÑOS.

### **A MIS PASTORES.-**

POR LA PALABRA DE DIOS QUE RECIBO A TRAVÉS DE USTEDES, QUE ME DA VIDA Y ME MOTIVA A NO DEJAR LAS COSAS A MEDIAS Y SEGUIR SIEMPRE ADELANTE.

### **A MIS HERMANOS.-**

POR SU GRAN AYUDA EN ESTE CAMINAR LABORAL, SIN DEJAR AUN LADO A MI YORS, YA QUE CON ELLOS SIEMPRE HE CAMINADO Y NUESTRAS ESPERANZAS SE VAN CONJUNTANDO, PERO ESPECIALMENTE A MI BUEN FLACAZO QUE TANTO QUIERO.

### **A MI ASESOR.-**

GRACIAS DR. VÍCTOR, PORQUE SIN TU GRAN AYUDA TODO ESTO SE ME HUBIERA COMPLICADO.

---

**DEDICADA A MIS HIJOS**

**ANA KARLA**

**Y**

**JOSUE YORBERT**

---

## ÍNDICE

	PÁGINA
Resumen	2
Introducción. (Objetivo, antecedentes y metodología)	5
Capítulo 1. Tipos de aerogeneradores, clasificación y componentes.	9
Capítulo 2. Metodología para el diseño de aerogeneradores.	30
Capítulo 3. Materiales empleados en la construcción de aerogeneradores.	40
Capítulo 4. Propuesta de diseño del aerogenerador.	46
Conclusiones.	74
Bibliografía y referencias.	76
Anexos	79

---

# **RESUMEN**

---

El Hombre emplea en todas sus actividades a la energía, por tal motivo, ha buscado formas de transformarla para darle un uso o aplicación dependiendo de las necesidades que tenga. Sabemos que los procesos que más satisfacen al Hombre, como la energía eléctrica, son causantes potenciales de contaminación, es decir, al utilizar un combustible para su generación, se crean gases productos de la combustión los cuales pueden provocar, desde una irritación en las vías respiratorias en el ser humano hasta la lluvia ácida o inversión térmica en el ambiente. Es necesario contar con alternativas que permitan obtener energía eléctrica sin afectar los recursos naturales y al medio ambiente. Afortunadamente se tienen alternativas que pueden apoyar como es el caso del sol, viento y agua. Una forma de producir energía eléctrica es empleando la energía que lleva el viento, el cual, mediante un equipo transformador de energía (aerogenerador) convierte la energía de movimiento en electricidad.

En esta tesis, se propone el diseño de un aerogenerador para las condiciones ambientales de Cuautitlán Izcalli, basándose en las experiencias de otros diseñadores de aerogeneradores, por lo que se espera contribuir al conocimiento de las energías renovables, principalmente en la referente al viento. Para alcanzar el diseño del aerogenerador, se tomó en cuenta proyectos que han empleado aerogeneradores, se consideró como funciona un aerogenerador así como su clasificación y los componentes que lo integran. Por último se consiguieron las estadísticas climatológicas de Cuautitlán Izcalli del 2000 al 2008.

En el diseño se seleccionó un perfil NACA 4112 por ser de los de mayor empleo y facilidad de construcción. Los parámetros de diseño obtenidos para el aerogenerador son:



---

Potencia eléctrica:	150 W
Velocidad nominal de diseño:	5.73 m/s
Perfil utilizado:	NACA 4412
Número de palas:	3
$\lambda$ :	5
RPM:	247.59 rpm
$C_p$ :	0.45
$C_l$ :	0.8
Eficiencia de transmisión ( $\eta_t$ ):	1 (transmisión directa)
$\rho$ :	1,23 kg/m <sup>3</sup>
$\alpha$ :	5°

Con la realización de éste trabajo de tesis:

Aprendí como se realiza la búsqueda de información en revistas internacionales arbitradas así como en proyectos y trabajos de tesis. Reafirmé el conocimiento acerca del funcionamiento y clasificación de los aerogeneradores. Apliqué dichos conocimientos adquiridos para desarrollar el diseño de este aerogenerador. El diseño planteado permitirá obtener 150 W, con velocidades del viento moderadas.

El empleo de aerogeneradores es una alternativa viable para el suministro de energía eléctrica a pequeña escala. La construcción del diseño planteado así como su mejora, podrá realizarse en proyectos posteriores.

---

# INTRODUCCIÓN

---

El Hombre emplea en todas sus actividades a la energía, por tal motivo, ha buscado formas de transformarla para darle un uso o aplicación dependiendo de las necesidades que tenga. Ya que el Ingeniero es el encargado del desarrollo del Hombre, es necesario que conozca el empleo de energías renovables y el mejoramiento ambiental. Sabemos que los procesos que más satisfacen al Hombre, como la energía eléctrica, son causantes potenciales de contaminación, es decir, al utilizar un combustible para su generación, se crean gases productos de la combustión los cuales pueden provocar, desde una irritación en las vías respiratorias en el ser humano hasta la lluvia ácida o inversión térmica en el ambiente.

Es necesario contar con alternativas que permitan obtener energía eléctrica sin afectar los recursos naturales y al medio ambiente. Afortunadamente se tienen alternativas que pueden apoyar, como es el caso del sol, viento y agua. Una forma de producir energía eléctrica es empleando la energía que lleva el viento, el cual, mediante un equipo transformador de energía (aerogenerador) convierte la energía de movimiento en electricidad. El diseño de estos aerogeneradores es complicado y constantemente está en estudio, debido a que el aerogenerador tiene que estar a una altura en la cual el aire no tenga obstáculos, su estructura debe estar bien cimentada y soportar las deformaciones por las fuerzas de la naturaleza y el clima. Los álabes deben estar diseñados eficientemente para canalizar el aire que pasa a través de ellos y deben estar contruidos de un material liviano pero resistente a las inclemencias del tiempo.

Se han realizado estudios y proyectos con aerogeneradores, de los cuales podemos mencionar los siguientes:

Vladislav [1] presenta el modelo para una fábrica de energía eólica, compuesta por 72 aerogeneradores.

---

P. Flores [2] ofrece un método de predicción de la velocidad del viento, el cual desarrolla predicciones a escala de tiempo que puede ser de minutos hasta horas.

Baris Ozerdem and et al [3] presentan el estudio técnico y económico de una fábrica de energía eólica para las condiciones de Izmir, Turkey.

Murat and et al [4] estudiaron las características del viento y el posible potencial de generación de energía eólica, en Kirklareli, Turkey.

F. Ben Amar and et al [5] presentan el potencial de generación de energía eléctrica de un promedio de cinco años, de la primera sección de la fábrica de energía eólica de Tunisia.

En este proyecto de tesis, se propone el diseño de un aerogenerador para las condiciones ambientales de Cuautitlán Izcalli, basándose en las experiencias de otros diseñadores de aerogeneradores, por lo que se espera contribuir al conocimiento de las energías renovables, principalmente en la referente al viento.

El diseño del generador eléctrico dependerá de la cantidad de energía aprovechable en el municipio de Cuautitlán Izcalli y del número y tamaño de los álabes a emplear.

El documento está estructurado de la siguiente manera:

En la introducción se incluyen brevemente (como antecedentes del tema) algunas de las experiencias de otros diseñadores así como de proyectos que han empleado aerogeneradores.

En el capítulo 1, se da una explicación sobre qué es un aerogenerador, cómo funciona, su clasificación y los componentes que lo integran.

---

En el capítulo 2, se establece la metodología que se emplea para el diseño de un aerogenerador.

En el capítulo 3, se comenta sobre los posibles materiales con los que se puede construir los componentes de un aerogenerador.

Por último, en el capítulo 4, se presenta el diseño propuesto empleando como base principal las condiciones ambientales de Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

---

**CAPÍTULO 1**  
**ENERGÍA EÓLICA:**  
**TIPOS DE**  
**AEROGENERADORES,**  
**CLASIFICACIÓN Y**  
**COMPONENTES.**

---

## **ENERGÍA EÓLICA**

Desde la antigüedad, el viento es una de las fuentes de energía más empleadas, se utilizó en barcos de vela, molinos y en bombeo de agua. Su aprovechamiento constituye una fuente de energía sumamente atractiva y ventajosa, no solamente para las empresas de servicios públicos, sino para la economía de un país.

La energía eólica casi no contamina, es inagotable y retrasa el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático. Es una de las fuentes más baratas y competitiva con otras fuentes de energía convencionales, como las centrales térmicas de carbón – gas e incluso con la energía nuclear, si se consideran los costes de reparar los daños medioambientales.

Las ventajas de ésta energía son: no produce ningún contaminante que incida sobre las características fisicoquímicas del suelo o erosión, ni vertidos o grandes movimientos de tierras. No produce alteración sobre los acuíferos, ya sea por consumo o por vertido de residuos. Debido a que no requiere del proceso de combustión, no produce gases tóxicos, no contribuye al efecto invernadero, no destruye la capa de ozono, ni tampoco contribuye en la lluvia ácida. Por último, no origina productos secundarios peligrosos ni residuos contaminantes.

Las desventajas de ésta energía son: se requiere de máquinas de gran tamaño debido al bajo peso específico del aire. Produce un impacto visual inevitable por el tamaño del soporte del aerogenerador que puede medir hasta 40 metros de altura y de los álabes que pueden tener hasta 20 metros de diámetro. En ocasiones el ruido producido por el giro del rotor es molesto y debe tenerse cuidado de no afectar a las aves que habitan cerca, por el riesgo de mortandad al impactar con las palas.

---

## APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA

Se conoce que los egipcios navegaban a vela en el año 4.500 a. c. y se tiene como punto de partida al molino que Herón de Alejandría construyó en el siglo II a. c. para proporcionar aire a su órgano. En el siglo VIII aparecieron en Europa grandes molinos de eje horizontal con cuatro aspas, en particular construidas por los holandeses. Es a partir de los siglos XII-XIII cuando empieza a generalizarse el uso de los molinos de viento para la elevación de agua y la molienda de grano, los más antiguos aparecieron en Turquía, Irán y Afganistán. Europa se llenó a su vez de molinos, sobre todo en Bélgica y en los Países Bajos. Los molinos de Holanda tenían 4 aspas de lona, los de Baleares y Portugal tenían 6 y los de Grecia 12. Se observó que los molinos con gran número de palas determinan velocidades de rotación relativamente bajas y un funcionamiento útil a partir de velocidades del viento del orden de 2 m/s.

Aún cuando el desarrollo de los molinos de viento se interrumpe con la revolución industrial, debido a la utilización masiva de vapor y combustibles fósiles como fuentes de energía motriz, en la segunda mitad de dicho siglo tiene lugar uno de los más importantes avances en la tecnología del aprovechamiento del viento, con la aparición del popular molino multipala tipo “americano” utilizado para bombeo de agua prácticamente en todo el mundo y cuyas características habrían de sentar las bases para el diseño de los modernos generadores eólicos. Fue en las guerras mundiales cuando aparecieron las hélices de aviación y con ellas los proyectos de grandes aerogeneradores de dos o tres palas. Actualmente predominan los molinos tripalas. Estos aerogeneradores giran más rápidamente que los multipalas, lo que constituye una ventaja cuando se trata de alimentar máquinas de gran velocidad de rotación como los alternadores eléctricos.

Los aerogeneradores de eje vertical tienen la ventaja de adaptarse a cualquier dirección del viento, los llaman panémonas (todos los vientos) y no precisan dispositivos de orientación. En su forma moderna derivan todos ellos del inventado en 1925 por el



---

ingeniero Francés Darrieus, patentado en Estados Unidos y luego caído en un olvido casi total. Su estudio volvió a iniciarse en Canadá en 1973 y en Estados Unidos a partir de 1975.

Las máquinas pequeñas, de 1 a 60 kW, pueden construirse a un precio inferior al de los molinos de viento clásicos de eje horizontal. Actualmente, en EEUU, los Laboratorios Sandia en Albuquerque, Nuevo México estudian y comercializan los molinos de viento Darrieus.

El primer aerogenerador fue construido en Francia, en 1929, pero se rompió a causa de una violenta tormenta. La compañía electromecánica construyó e instaló en Bourget un aerogenerador de dos palas de 20 metros de diámetro. El aparato fue destruido por las ráfagas de viento. En Rusia se puso en funcionamiento en 1931, en Crimea, frente al mar muerto, un aerogenerador de 30 metros, que tenía que proporcionar 100 kW a la red de Sebastopol, la media durante dos años fue de 32 kW. En 1941 los estadounidenses y más concretamente la NASA construyó un bipala de 53 m de diámetro, previsto para una potencia máxima de 1.250 kW que se instaló en Vermont, en el nordeste de EEUU. Las primeras pruebas, iniciadas en octubre de 1941 continuaron durante unos 15 meses. Un pequeño incidente en 1943 bloqueó la máquina durante dos años, ya que las dificultades ligadas a la guerra retrasaron la fabricación de piezas nuevas. Vuelto a poner en marcha, el aerogenerador proporcionó corriente al sector durante veintitrés días, luego se rompió una de las palas y se abandonó el proyecto.

En 1975 se pusieron en servicio los aerogeneradores Mod. 0 con unas palas de metal con un diámetro de 38 metros, produciendo 100 kW. En 1977 se construyó el Mod. 0A que tenía 200 kW. En 1978, la GENERAL ELECTRIC termina el bipala Mod. 1 con un diámetro de 60 metros que acciona un alternador de 2 MW. Al mismo tiempo la BOEING estudia el Mod. 2, ideal para los vientos medios de las grandes llanuras, que con 91 metros de diámetro produce 2,5 MW, con palas de acero.

---

En Francia, un vasto programa patrocinado por la Electricité de France, ha realizado un estudio del viento en todas las regiones y ha construido varios aerogeneradores experimentales. El aerogenerador "Best Romani" tripala de 30 m de diámetro con chapas de aleación ligera fue instalado en Nogent-le-Roy en Beauce. Podía proporcionar 800 kW a la red con un viento de 60 Km/h.

La compañía Neyrpic instaló en Saint-Rémy-des-Landes (Manche) dos aerogeneradores de tres palas. El primero de 21 metros de diámetro producía 130 kW de potencia (funcionó hasta marzo de 1966) y el otro, de 35 metros, previsto para producir 1.000 kW, proporcionó una potencia satisfactoria durante las pruebas, pero a la ruptura de un palier en 1964 hizo que se abandonase el programa de estudios.

En Alemania se construyó entre 1955 y 1957 un aerogenerador de dos palas de 34 metros de diámetro, de fibra de vidrio, a 80 Km. al este de Stuttgart. Esta máquina funcionó hasta 1968. Dinamarca construyó en 1957 el "Gedser Mill", hélice de tres palas de 24 metros de diámetro que funcionó hasta 1968. Producía 200 kW con una velocidad del viento en el eje de la máquina de 15 m/s.

El bajo precio del petróleo determinó entonces la suspensión total de los grandes proyectos en todo el mundo. Pero en los años 70, coincidiendo con la primera crisis del petróleo, se inicia una nueva etapa en el aprovechamiento de la energía del viento. Las aplicaciones de las modernas tecnologías y en especial de las desarrolladas para la aviación, dan como resultado la aparición de una nueva generación de máquinas eólicas muy perfeccionadas que permiten su explotación, bajo criterios de rentabilidad económica, en zonas de potencial eólico elevado.

A principios de los años 70, los norteamericanos, enfrentados al aumento de los problemas de abastecimiento de energía, iniciaron un amplio programa para explotar la energía eólica. En aquel momento se estimaba, en efecto, que ésta energía renovable

---

podría, aparte de sus aplicaciones tradicionales, proporcionar kW/h a las redes eléctricas a un precio igual o inferior al de las centrales térmicas. Ello sería pronto una realidad con la puesta en servicio, de grandes aerogeneradores que producirán potencias eléctricas comprendidas entre 2 y 5 MW. EEUU cuenta con numerosos proyectos para la utilización de la energía del viento, incluso en combinación con otras centrales como las hidroeléctricas. También ha mostrado un gran interés en promocionar los aerogeneradores entre el público para que no los rechace y entre los posibles interesados (fabricantes y usuarios).

Algunos de estos molinos (como el Mod. 0, Mod 0A, Mod 2, Best Rommani, Gedser Mill) alcanzaban dimensiones colosales para aquella época: sus hélices, con un diámetro de varias decenas de metros, están sostenidas por grandes postes. Casi todas las grandes máquinas eólicas fueron destruidas por la acción del viento tras algunos años de servicio. La gran hélice de 31 metros instalada en 1958 en Nogent-le-Roi, un pueblo de Normandía al oeste de Francia, fue destruida por una tormenta en 1963. Estaba montado sobre un trípode metálico que tenía tres palas situadas a 35 metros por encima del suelo y era capaz de girar a 47 rpm.

Los primeros grandes aerogeneradores se encuentran en los Estados Unidos, donde en 1941 había ya una eólica cuya hélice pesaba 7 toneladas y tenía un diámetro de 53 metros, la cual se rompería durante una tormenta. Desde 1973 y bajo la responsabilidad de la NASA, los Estados Unidos han reanudado la construcción de eólicas gigantes. Las dos más grandes miden 61 y 91 metros de diámetro y funcionan desde 1978 en Boone (Ohio) y en Barstow (California). Producen de 2.000 a 2.500 kW de electricidad.

---

## TIPOS DE AEROGENERADORES Y CLASIFICACIÓN

En la actualidad existe una variedad de modelos de aerogeneradores, los cuales varían dependiendo de la potencia proporcionada, el número de palas o por la manera de producir energía eléctrica (aisladamente o en conexión directa con la red de distribución convencional). Pueden clasificarse, con base a distintos criterios:

### Por la posición del aerogenerador.

#### a) Eje Vertical



Figura 1.1.- Aerogenerador de Eje vertical.

Su característica principal es que el eje de rotación se encuentra en posición perpendicular al suelo, como se ilustra en la figura 1.1. Son también llamados "VAWTs", que corresponde a las siglas de la denominación inglesa "vertical axis wind turbines".

Existen tres tipos de estos aerogeneradores:

- a.1) Darrieus: Consisten en dos o tres arcos que giran alrededor del eje.
- a.2) Panemonas: Cuatro o más semicírculos unidos al eje central. Su rendimiento es bajo.

---

a.3) Sabonius: Dos o más filas de semicilindros colocados opuestamente.

b) Eje horizontal

Son los más habituales y en ellos se ha centrado el mayor esfuerzo de diseño en los últimos años. Se los denomina también "HAWTs", que corresponde a las siglas de la denominación inglesa "horizontal axis wind turbines". En la figura 1.2, se presenta el ejemplo de un aerogenerador de eje horizontal.



Figura 1.2.- Aerogenerador de Eje horizontal

**Por la posición del equipo con respecto al viento.**

a) A barlovento

Las máquinas tienen el rotor de cara al viento y su principal ventaja es que se evita el abrigo del viento tras la torre. La mayoría de los aerogeneradores tienen este diseño. Su principal inconveniente es que el rotor necesita ser bastante rígido y estar situado a una cierta distancia de la torre, además de necesitar un mecanismo de orientación para mantener el rotor de cara al viento.

b) A sotavento:

Estas máquinas tienen el rotor situado en la cara a sotavento de la torre. La ventaja teórica que tienen es que pueden ser construidos sin un mecanismo de orientación, si el rotor y la góndola tienen un diseño apropiado que hace que la góndola siga al viento pasivamente (aunque esto se complica en diseños grandes). Como una de sus ventajas el rotor puede hacerse más flexible, lo que da una ventaja tanto en cuestión

---

de peso como de dinámica de potencia de la máquina. Su desventaja principal es la fluctuación de la potencia eólica, debida al paso del rotor a través del abrigo de la torre.

**Por el número de palas.**

a) Una pala

Al tener sólo una pala, estos aerogeneradores requieren un contrapeso en el otro extremo para equilibrar. La velocidad de giro es muy elevada. Su gran inconveniente es que introducen en el eje unos esfuerzos muy variables, lo que acorta la vida de la instalación. En la figura 1.3 se presentan los diferentes modelos dependiendo el número de palas.

b) Dos palas

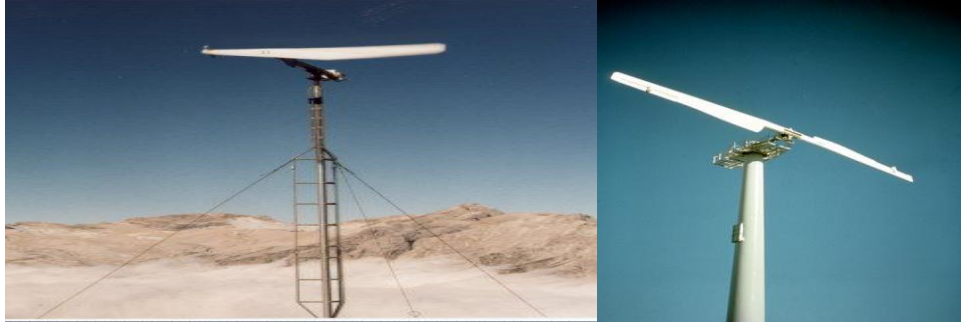
Los diseños bipala de aerogeneradores tienen la ventaja de ahorrar el costo de una pala y por supuesto, su peso. Sin embargo necesitan una mayor velocidad de giro para producir la misma energía de salida. Esto supone una desventaja tanto en lo que respecta al ruido como al aspecto visual.

c) Tres palas

La mayoría de los aerogeneradores modernos tienen este diseño, con el rotor en la posición corriente arriba, usando motores eléctricos en sus mecanismos de orientación.

d) Multipalas

El modelo americano cuenta con un número superior de palas, donde una de sus primeras aplicaciones fue la extracción de agua en pozos de las grandes llanuras de aquel continente.



a) Una pala

b) Dos palas



c) Tres Palas

d) Multipala

Figura 1.3.- Diferentes modelos dependiendo el número de palas

**Por la manera de adecuar la orientación del equipo a la dirección del viento.**

El mecanismo de orientación de un aerogenerador es utilizado para girar el rotor de la turbina en contra del viento. Se dice que la turbina tiene un error de orientación si el rotor no está perpendicular al viento. Un error de orientación implica que una menor proporción de la energía del viento pasará a través del área del rotor (esta proporción disminuirá con el coseno del error de orientación). Por tanto, la eficiencia del mecanismo de orientación es fundamental para mantener el rendimiento de la instalación.

---

## Según la forma de producir energía eléctrica.

Puede ser en conexión directa a la red de distribución convencional o de forma aislada. Las **aplicaciones aisladas** por medio de pequeña o mediana potencia se utilizan para usos domésticos o agrícolas, (iluminación, pequeños electrodomésticos, bombeo, irrigación, etc.) incluso en instalaciones industriales para desalación, repetidores aislados de telefonía, TV, instalaciones turísticas y deportivas, etc. En caso de estar condicionados por un horario o una continuidad, es necesario introducir sistemas de baterías de acumulación o combinaciones con otro tipo de generadores eléctricos (grupos diesel, placas solares fotovoltaicas, centrales minihidráulicas, etc.) También se utilizan aerogeneradores de gran potencia en instalaciones aisladas, desalinización de agua marina, producción de hidrógeno, etc. La **conexión directa a la red** viene representada por la utilización de aerogeneradores de potencias grandes (más de 10 ó 100 kW). Aunque en determinados casos es factible la conexión de modelos más pequeños, siempre teniendo en cuenta los costos por enganche a la red (equipos y permisos). La mayor rentabilidad se obtiene a través de agrupaciones de máquinas de potencia conectadas entre sí y que vierten su energía conjuntamente a la red eléctrica. Dichos sistemas se denominan **parques eólicos**. Por sus condiciones de producción caprichosa, está limitada en porcentaje al total de energía eléctrica (en la conexión directa a la red). Se considera que el grado de penetración de la energía eólica en grandes redes de distribución eléctrica, puede alcanzar sin problemas del 15 al 20% del total, sin especiales precauciones en la calidad del suministro, ni en la estabilidad de la red.

## COMPONENTES DE UN AEROGENERADOR

En la figura 1.4 se pueden ver los principales elementos de un aerogenerador



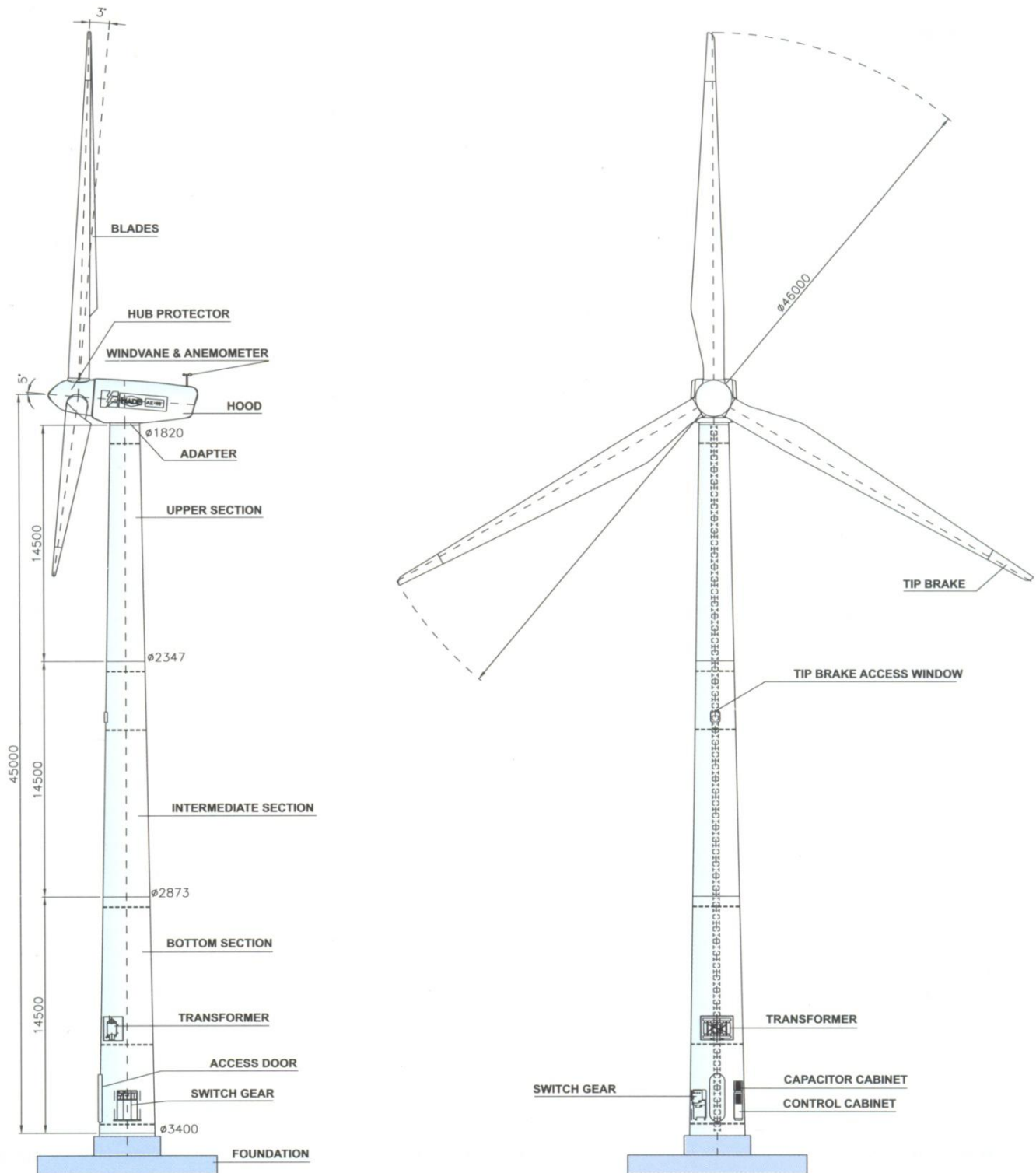


Figura 1.4.- Componentes de un aerogenerador

---

De la figura 1.4 se observan los siguientes componentes:

## Turbina

Las principales partes de la turbina se observan en la figura 1.5.

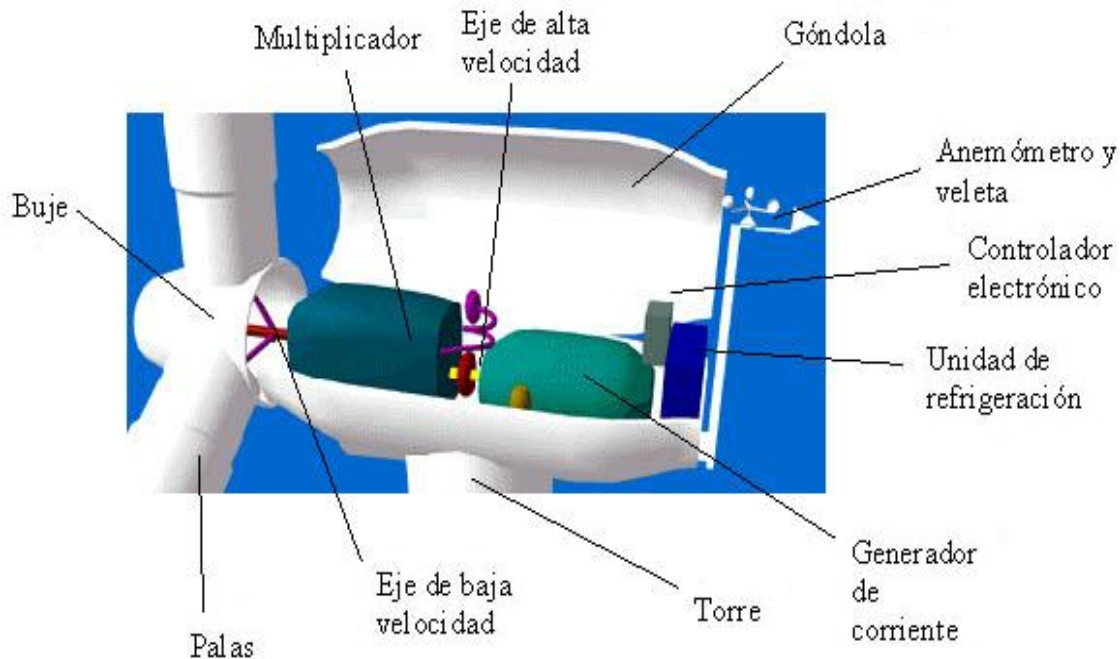


Figura 1.5.- Principales componentes de la turbina.

## La góndola

Contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico. El personal de servicio puede entrar en la góndola desde la torre de la turbina. La góndola del aerogenerador protege a todos los componentes del mismo de las inclemencias del tiempo, a la vez que aísla acústicamente el exterior del ruido generado por la máquina. La capota de la góndola, fabricada en material compuesto, está unida al chasis, sobre el que se montan todos los componentes. Está construida en un 30% de fibra de vidrio y en un 70% de poliéster. Dispone de tomas de aire para la refrigeración, trampilla, pararrayos, anemómetro y veleta.

---

La cara externa está protegida con resina epóxica de alta calidad o fibra de vidrio, no permitiéndose que en su acabado aparezcan deformaciones o marcas de fibra. Este acabado proporciona una resistencia suficiente al medio marino y a la erosión derivada de vientos fuertes y partículas en suspensión. El chasis esta partido por su parte frontal en la que se soportan y transmiten las cargas del rotor y tren de potencia y una parte posterior en voladizo sobre la que descansan el generador y los armarios de potencia y equipos auxiliares.

### **El buje**

El buje del rotor está acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador.

### **El rotor**

Un ejemplo de rotor será un tripala horizontal con control de potencia por entrada en pérdida. La pala puede tener una longitud de 21 m. por lo que al usar buje esférico son necesarios unos alargadores de aproximadamente 0.5 m. (para un buje de 1.7 m. diámetro). El ángulo de inclinación del eje de giro del rotor respecto a la horizontal es de 5° (ángulo de tilt). La pala viene equipada con dispositivos aerodinámicos que optimizan el comportamiento de ésta tanto desde un punto de vista estructural-dinámico como de actuaciones. El sentido de giro del rotor, visto desde el frente, es horario. También podemos encontrar un rotor de tipo tripala de eje horizontal, con control de potencia por cambio de paso de las palas y por elección de la velocidad de giro de su rotor, de manera que se está siempre en la situación óptima para la producción energética. Ejemplos de pala elegida para este tipo pueden ser la LM 25.1 P 27.1 P 28.6 P (Longitud de pala 25.1 m 27.1 m y 28.6 m)

La pala está unida al buje mediante un rodamiento de bolas, que permite a ésta girar alrededor de su eje. El rodamiento se une a la pala por su anillo interior y al buje por el

---

exterior. El control del ángulo de paso permite a la pala girar entre 0 y 90° y conseguir que el aerogenerador mantenga la potencia nominal en un rango de vientos comprendido entre 12 – 25, 11.5 - 25 y 10.8 - 25 m/s, así como realizar arranque y paradas eficaces.

### **El eje de baja velocidad**

Conecta el buje del rotor al multiplicador. En un aerogenerador moderno de 600 kW. El rotor gira muy lento, a unas 19-30 rpm. El eje contiene conductos del sistema hidráulico para permitir el funcionamiento de los frenos aerodinámicos.

### **Sistema de cambio de paso**

La principal función del sistema de cambio de paso es el control de potencia. Para el sistema de control se compara la curva de potencia con la producción del aerogenerador, seleccionando el paso de la pala óptimo para cada velocidad de rotación. El cambio de paso se realiza mediante un actuador hidráulico individual para cada pala, aumentando o disminuyendo la presión. Con este sistema se logra una mayor precisión en la regulación, optimizar la dinámica del sistema y una mayor seguridad frente a fallos. También se utiliza el cambio de paso para el sistema de frenado. Mediante las servoválvulas se llevan las palas hasta 88° (posición de bandera) a una velocidad de 5.7 m/s en una parada normal. Para frenar de emergencia se utilizan, adicionalmente servoválvulas y unos acumuladores que son capaces de llevar a la pala a 88° a una velocidad de 15 m/s.

### **El tren de potencia y multiplicador**

El tren de potencia está constituido por el eje lento, el soporte principal de dicho eje, el multiplicador de velocidades y el acoplamiento. Su misión es transmitir la potencia mecánica al generador eléctrico en las condiciones adecuadas para la generación de electricidad.

---

El multiplicador tiene en la entrada el eje de baja velocidad y permite que el eje de alta velocidad que está a la salida gire más de 50 veces más rápido que el eje de baja velocidad. Está equipado con un sistema de lubricación, que puede ser por bomba independiente o por barboteo. La bomba, acoplada a un motor eléctrico e instalada a un costado de la máquina, se activa antes de liberar el rotor, con lo que la máquina recibe una cantidad suficiente de aceite antes de iniciar el giro, caudal que en todo momento es constante e independiente del régimen de revoluciones del multiplicador. En este caso la cantidad de aceite en el cárter es sensiblemente inferior que en la lubricación por barboteo, en la práctica se opta por una combinación racional de los dos sistemas, a objeto de minimizar las necesidades de energía requeridas para los equipos de bombeo y abaratar los costes.

El eje principal realizado en acero forjado (42 CrMo4) consta de una brida para su unión mediante tornillos al buje, se apoya sobre un rodamiento de doble hilera de rodillos en su parte delantera y se une al multiplicador mediante un aro Stüwe de compresión.

El multiplicador tiene una relación de velocidades mayor a 1:50, que consigue mediante una primera etapa planetaria y dos etapas más de ejes paralelos helicoidales. El sentido de giro en eje lento y eje rápido es el mismo. La potencia nominal de entrada en el eje lento puede ser de 715 kW ó 860 kW.

El acoplamiento entre multiplicador y generador es elástico, con capacidad de absorber desalineamientos en operación continua. El freno mecánico se monta sobre el eje rápido del multiplicador y consiste en un disco de 0.795 m. de diámetro sobre el que actúa una pinza hidráulica, segura ante el fallo.

---

## **El eje de alta velocidad**

Gira aproximadamente a 1,500 rpm lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia. El freno mecánico se utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina.

## **El generador eléctrico**

Suele ser un generador asíncrono o de inducción. En los aerogeneradores modernos la potencia máxima suele estar entre 500 y 1,500 kW

Generador asíncrono: tiene un doble devanado estático de 4 y 6 polos, lo que permite elegir en función de la velocidad del viento, cual de los dos se conecta a la red, optimizando así el rendimiento de la transformación energética y características aerodinámicas, a la vez que se reduce el nivel de ruido a bajas velocidades de viento. La potencia de cambio está en el entorno de los 130 kW.

Generadores de tipo síncrono: el sistema de control permite al generador producir energía desde 750 rpm hasta la velocidad de sincronismo de 1500 rpm. Este sistema de velocidad variable permite optimizar la captación de energía para velocidades de viento inferiores a la velocidad nominal. En este sistema, el acoplamiento entre el generador síncrono y la red eléctrica de frecuencia fija, se establece a través de un convertidor de frecuencia, situado directamente entre el estator de la máquina y la red. La potencia total generada por la máquina pasa a través del convertidor.

El generador se sitúa en la parte trasera de la góndola, en la parte lateral izquierda. A su lado se encuentra el armario de contactores del generador y el módulo de tiristores. Éste último se encarga del arranque y acoplamiento suaves del generador a la red así como de

---

la conmutación entre generadores. También se encuentra en la góndola el módulo de compensación de potencia reactiva.

El tablero de potencia se conecta a un transformador de 715 kVA situado en la base de la torre, en el que se eleva la tensión hasta 20 kV, para ser entregada a la red a través de las correspondientes celdas de media tensión. En la base de la torre se encuentra también el tablero de control del aerogenerador.

### **La unidad de refrigeración**

Contiene un ventilador eléctrico utilizado para enfriar el generador eléctrico. Además contiene una unidad refrigerante por aceite empleada para enfriar el aceite del multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores refrigerados por agua.

### **Las palas del rotor**

Se mueven con el viento y transmiten su potencia hacia el buje. En un aerogenerador moderno de 600 kW. cada pala mide alrededor de 20 metros de longitud y su diseño es muy parecido al del ala de un avión. Plásticos y resinas son los materiales que tradicionalmente se han utilizado en la fabricación de las palas de los aerogeneradores. La fibra de vidrio se aplica al 99% de los grandes aerogeneradores. Existe una tendencia clara hacia el uso de resina de poliéster reforzado de fibra de vidrio o carbono. En cuanto a las turbinas pequeñas, igualmente el 99 % usan materiales plásticos, sólo algún fabricante usa madera, la mayoría son de materiales plásticos inyectados. Antes de aplicarse estos materiales las palas eran de madera, acero y aluminio.

---

## **Sistema de orientación**

El aerogenerador tiene un sistema activo de orientación, que hace girar la góndola de forma que el rotor permanezca orientado hacia el viento. El sistema actúa sobre un rodamiento de bolas que une la torre al chasis. La parte exterior del rodamiento, que se une a la torre a través de tornillos, tiene un dentado sobre el que actúan los moto-reductores de orientación. En la parte interna de la torre existe un disco de freno, sobre el que se montan las pinzas de freno.

A través de los sensores de viento localizados en el exterior de la góndola, (duplicados por seguridad) el control es informado si la góndola está orientada o no con el viento incidente. Si no lo está, se liberan parcialmente (reduciendo la presión de su circuito hidráulico) las 4 pinzas de freno en orientación de la máquina, de forma que cuando los 2 moto-reductores eléctricos aplican su par de giro sobre el rodamiento corona, la máquina mantiene un par pasivo que hace más suave y más seguro el movimiento de la máquina.

## **Convertidor**

Tiene el cometido de regular el par que es opuesto por el generador eléctrico a la turbina, regulando de esta forma su velocidad de giro y el de inyectar la energía producida en la red con la máxima calidad posible. El convertidor se encuentra en una plataforma intermedia de la torre. Su entrada se encuentra conectada al generador a través de mangueras flexibles y la salida es dirigida de igual forma al transformador de media tensión para su distribución. Los objetivos que el convertidor cumple son:

Inyección de potencia a la red de forma óptima.

Reducción máxima de fluctuaciones de potencia y efecto Flickering.

Operación con velocidad variable del rotor, de forma que el punto de funcionamiento de la turbina, sea el de máximo rendimiento dentro del rango de funcionamiento.



---

## **El controlador electrónico**

Es un ordenador que continuamente monitoriza las condiciones del aerogenerador y que controla el mecanismo de orientación. En caso de cualquier disfunción, por ejemplo un sobrecalentamiento en el multiplicador o en el generador, automáticamente para el aerogenerador y llama al ordenador del operario encargado de la turbina a través de un enlace telefónico mediante MODEM.

## **La torre**

Soporta la góndola y el rotor. Generalmente es una ventaja disponer de una torre alta, dado que la velocidad del viento aumenta conforme nos alejamos del nivel del suelo. Una turbina moderna de 600 Kw. tendrá una torre de 40 a 60 metros y pueden ser tubulares o de celosía. Las torres tubulares son más seguras para el personal de mantenimiento de las turbinas, ya que pueden usar una escalera interior para acceder a la parte superior de la turbina. La principal ventaja de las torres de celosía es que son más baratas.

## **El anemómetro y la veleta**

Las señales electrónicas del anemómetro son utilizadas por el controlador electrónico del aerogenerador, para conectarlo cuando el viento alcanza aproximadamente 5 m/s. El ordenador parará el aerogenerador automáticamente si la velocidad del viento excede de 25 m/s, con el fin de proteger a la turbina y sus alrededores. Las señales de la veleta son utilizadas por el controlador electrónico para girar el aerogenerador en contra del viento, utilizando el mecanismo de orientación.

---

## **La cimentación**

La cimentación del aerogenerador asegura la estabilidad del mismo para todas las condiciones de diseño y está diseñada para una amplia variedad de terrenos. Consta del anclaje y de la zapata. El anclaje se diseña como continuación de la torre, a la que se atornilla por medio de una brida interior, de manera que transmite los esfuerzos a la zapata. La zapata, construida en hormigón en masa, es de planta cuadrada y está reforzada por una armadura de acero.

---

**CAPÍTULO 2**  
**METODOLOGÍA PARA EL**  
**DISEÑO DE**  
**AEROGENERADORES.**

---

El aprovechamiento de la energía eólica se ha incrementado significativamente, especialmente en aplicaciones de mediana y gran escala, debido principalmente al desarrollo de un competitivo mercado internacional de tecnologías, así como al apoyo de acertadas políticas de promoción especialmente en Europa. Sin embargo, el desarrollo de tecnologías para la aerogeneración a pequeña escala no ha tenido el mismo avance, especialmente en países en vías de desarrollo donde las energías renovables aún no son consideradas en los planes energéticos.

El diseño y montaje de un aerogenerador de baja potencia debe estar basado en algunas consideraciones generales que establezcan un marco sólido y delimiten su desarrollo práctico para evitar caer en complicaciones innecesarias.

***Nivel de Potencia.*** En primer lugar se deberá establecer el tipo de aerogenerador que se pretende diseñar en cuanto a nivel de potencia eléctrica requerida. Se considera inicialmente que se trata de un diseño de baja potencia (500 watts nominales).

***Tipo de Instalación.*** Los aerogeneradores tienen la ventaja de estar instalados aisladamente, es decir, para generación de electricidad en un lugar retirado o que no cuenta con interconexión a la red eléctrica, o puede ser instalado haciendo parte de un parque eólico, que provee de electricidad a una zona determinada e interconectado a la red eléctrica local, lo que determina que el aerogenerador funcione aisladamente. Para el proyecto de tesis, la generación de electricidad puede ser utilizada en pruebas de laboratorio, con fines didácticos y por consiguiente el lugar de instalación estará también dentro del campus universitario con el fin de permitir un fácil acceso al prototipo por parte de estudiantes y docentes interesados.

---

**Generador Eléctrico.** Para la elección del generador eléctrico se debe tener en cuenta que pueda generar electricidad a bajas revoluciones (menos de 800 rpm), que sea de pequeñas dimensiones y bajo peso.

**Estructura de Soporte.** La estructura de soporte debe seleccionarse teniendo en cuenta factores que permitan un montaje sencillo y de fácil acceso para su posterior mantenimiento.

**Sistema de Control.** La energía captada por un aerogenerador varía con el cubo de la velocidad del viento. Si ésta velocidad se triplica, para un generador de potencia nominal de 500 watts, se generará una energía 27 veces mayor (13,500 watts). Como ilustra este cálculo, es indispensable diseñar un sistema de control o regulación de potencia extraída del viento contra incrementos sorpresivos de su velocidad. Para un aerogenerador de baja potencia se prefiere un sistema de control mecánico a uno electrónico, que esté basado en el empuje que ejerce el viento sobre las aspas del aerogenerador o la velocidad que se presente.

## **FUNDAMENTOS AERODINÁMICOS**

El viento está compuesto por partículas de aire en movimiento, cuando la masa de aire esté conformada por filetes yuxtapuestos, perfectamente individualizados, se dice que su movimiento es laminar, mientras que si los filetes de aire se entrecruzan y no conservan su individualidad, se dice que el movimiento es turbulento, éste es el caso más general que acontece en el viento. Si en cada punto de una masa de aire en movimiento turbulento se miden las velocidades instantáneas, se observa que estas varían en magnitud y en dirección sin ninguna regularidad, pero no suelen apartarse mucho de un valor medio. Los movimientos desordenados del aire a nivel macroscópico se llaman turbulencias, que pueden influir en masas de aire importantes. Cuando el viento se encuentra con un

---

obstáculo, su movimiento empieza a ser perturbado y a hacerse irregular a una cierta distancia del mismo.

A continuación se resume la teoría aerodinámica aplicable a las palas de los aerogeneradores, mostrando preferentemente las expresiones usadas sin recurrir al desarrollo de las mismas.

### Fuerzas sobre el perfil

Un objeto situado en el seno de una corriente de aire, presenta una resistencia al avance deformando los filetes de aire, esto depende de la forma del objeto y de su posición con relación a la dirección del viento, como se ilustra en la figura 2.1.

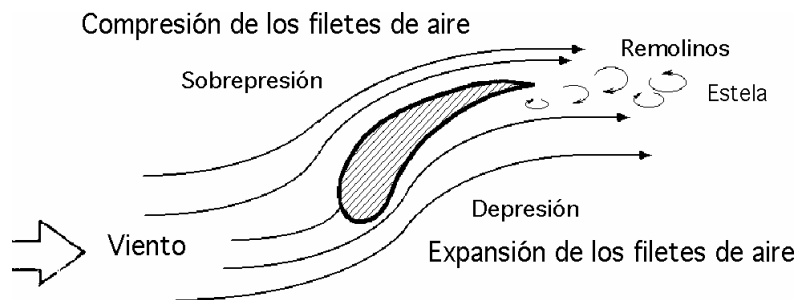


Figura 2.1.- Perfil situado en el seno de una corriente fluida

Cuando se estudian los efectos de la resistencia del aire sobre una placa plana, se observa que la resultante  $R$  de las fuerzas aplicadas a la placa es un vector cuyo punto de aplicación es su centro aerodinámico o centro de empuje, siendo su dirección perpendicular a la placa, su sentido el del viento y su intensidad proporcional a la superficie  $S$  expuesta y al cuadrado de la velocidad del viento  $v$ , en la forma:

$$R = C_w \rho \frac{SV^2}{2} = kSV^2$$

En donde  $k$  es un coeficiente que depende del ángulo  $\alpha$  de incidencia, de las unidades elegidas y de la turbulencia del movimiento;  $C_w$  es el coeficiente de resistencia (penetración),  $R$  es la densidad del aire y  $S$  la sección frontal del perfil. Si el ángulo  $\alpha$  que forma el plano de la placa con la dirección del viento es grande, existe una sobrepresión en la parte delantera de la placa y una depresión en su parte posterior de carácter turbulento, como se ilustra en la figura 2.2; si el ángulo de incidencia  $\alpha$  es pequeño, la sobrepresión aparece en la parte inferior de la placa y la depresión por encima, por lo que aparece una fuerza que tiende a elevarla, como se observa en la figura 2.3, conocida como fuerza de sustentación o de elevación.

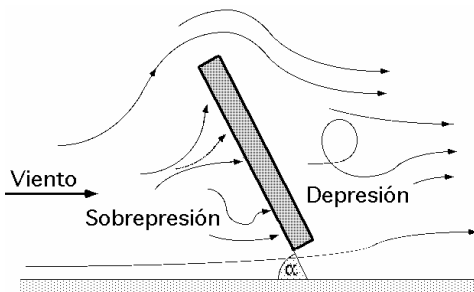


Figura 2.2.- Sobrepresión en la parte inferior de la placa

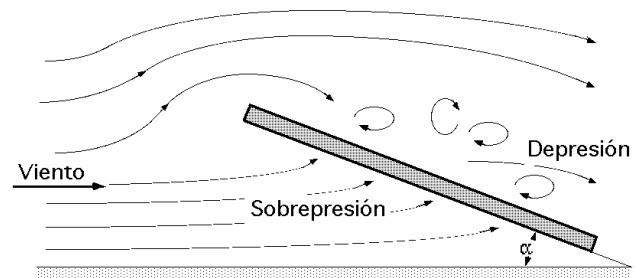


Figura 2.3.- Sobrepresión aparece en la parte delantera de la placa

En la Figura 2.4 se representa un perfil de placa plana con dos tipos de inclinación. Se indican los valores de  $R$ , observándose que, contra más pequeño sea el ángulo  $\alpha$  de inclinación, la resultante  $R$  será mayor.

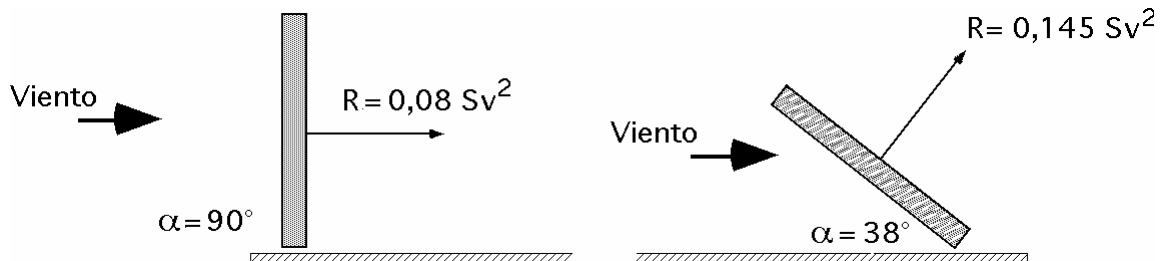


Figura 2.4.- perfil de placa plana con dos tipos de inclinación.

Para perfiles planos (fijos) de longitud  $L$  paralelos a la velocidad  $v$  del viento, el valor del número de Reynolds es:

$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

El valor de  $C_w$  viene dado por:

$$\text{Flujo laminar: } C_w = \frac{1,328}{\sqrt{Re}} ; Re < 10^5$$

$$\text{Flujo turbulento: } C_w = \frac{0,074}{Re^{1/5}} ; 10^5 < Re < 10^7$$

$$C_w = \frac{0,455}{(\log Re)^{-2,58}} ; Re > 10^7$$

Para otros perfiles no planos con su eje de simetría paralelo a la dirección del viento, se indica en la Figura 2.5 el valor del coeficiente  $C_w$ .

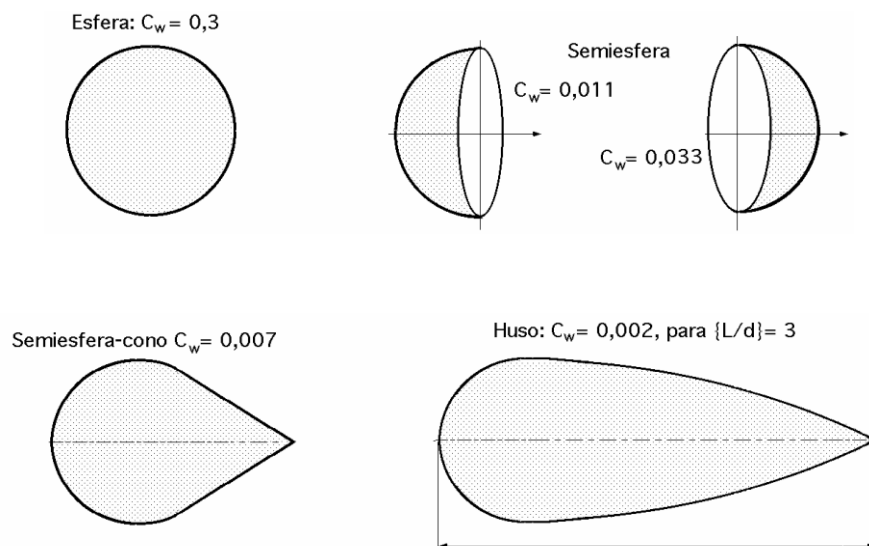


Figura 2.5 Coeficiente  $k$  para algunos perfiles semiesféricos

Para un perfil diseñado en forma aerodinámica se definen dos zonas que son:

- El extradós, que es la parte del perfil en donde los filetes de aire están en depresión



b) El intradós, que es la parte del perfil en donde los filetes de aire están en sobrepresión.

Si la placa no está perfilada convenientemente, las turbulencias originadas sobre el extradós disminuyen la energía cinética del aire. Si se permite que la placa se desplace bajo el efecto de la fuerza ejercida por el viento, producirá un cierto trabajo recuperable en forma de energía mecánica; cuanto menor sea la turbulencia, mayor será este trabajo.

### Fuerzas de arrastre y ascensional en perfiles fijos

La componente de  $R$  en la dirección del viento es la fuerza de arrastre  $F_{arr}$  mientras que la componente de  $R$  perpendicular a la fuerza de arrastre es la fuerza ascensional  $F_{asc}$ :

$$F_{arr} = R \operatorname{sen}\alpha = k_x S v^2$$

$$F_{asc} = R \operatorname{cos}\alpha = k_y S v^2$$

La fuerza  $R$  se considera normal a la cuerda del perfil, que es al mismo tiempo su longitud característica; el empuje ascensional aumenta a medida que  $\alpha$  disminuye. La cuerda se considera desde el borde de ataque del perfil, al borde de salida posterior. Si la forma del perfil no es plana, se puede descomponer  $R$  en función de dos tipos de coeficientes,  $k_x$  de arrastre y  $k_y$  ascensional, siendo el eje  $x$  paralelo a la dirección del viento, como se observa en la Figura 2.6.

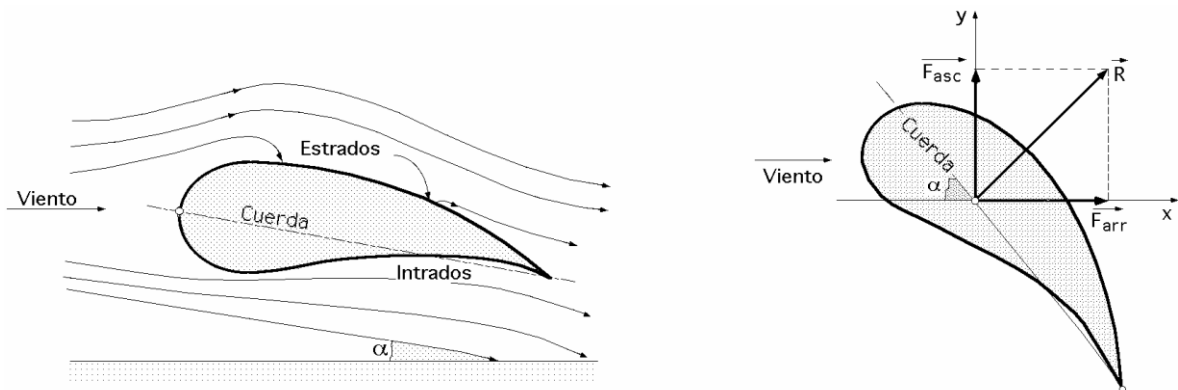


Figura 2.6.- Coeficientes de arrastre y ascensional

---

## Polar de un perfil

Se define la esbeltez de un perfil, para un valor dado de  $\alpha$ , como la relación entre los coeficientes  $k_y$  y  $k_x$ , en la forma:

$$\text{Esbeltez, } f = \frac{k_y}{k_x} = \frac{C_y}{C_x} = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}$$

La curva  $C_y = f(C_x)$ , como se observa en la Figura 2.7, se denomina polar del perfil y se determina haciendo mediciones de los valores de  $F_{\text{arr}}$  y  $F_{\text{asc}}$ , mediante una balanza de torsión en un túnel de viento, para diversos valores del ángulo de ataque  $\alpha$ .

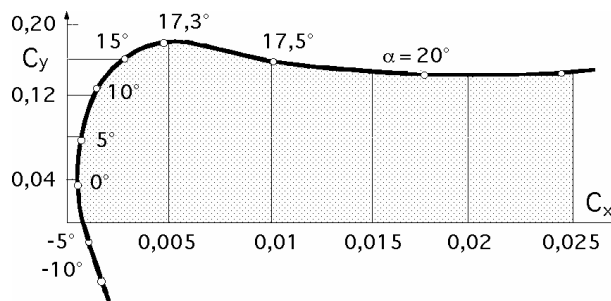


Figura 2.7 Polar de un perfil

## ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE EL PERFIL. POTENCIA ÚTIL Y RENDIMIENTO

### Palas perfiladas

El elemento básico de un aerogenerador es el rotor, el cual está formado por una o varias hélices (o palas) y su teoría de cálculo elemental es análoga a la de las hélices de avión. En el rotor están situadas las palas, cuyo número es variable según los casos y cada pala tiene un perfil que tiene forma aerodinámica. Estos perfiles tienen un extremo romo, que es el borde de ataque mientras que el otro extremo, de forma afilada, es el borde de salida.

Los perfiles tienen distintos nombres según su geometría. Se denominan biconvexos si el intradós y el extradós son convexos; plano-convexos si tienen el extradós convexo y el intradós plano; y de doble curvatura si el intradós y el extradós son cóncavos. En general los tipos de perfiles utilizados en las máquinas eólicas rápidas son de la serie NACA (National Advisory Committee of Aeronautics) y vienen determinados por un conjunto de cifras que definen su geometría.

### Nomenclatura de perfiles NACA -4 cifras

La primera cifra tiene un significado geométrico e indica la máxima flecha de la línea media de la cuerda en %, proporcionando la máxima curvatura. La segunda cifra tiene un significado geométrico e indica su posición, es decir, la distancia desde el borde de ataque hasta la posición de la máxima flecha de la línea media o máxima curvatura. Las dos últimas cifras indican el espesor relativo máximo en % respecto a la cuerda. El perfil se obtiene mediante dos parábolas tangentes en el punto de máxima línea media. En la figura 2.8 se presentan dos ejemplos de perfiles NACA.

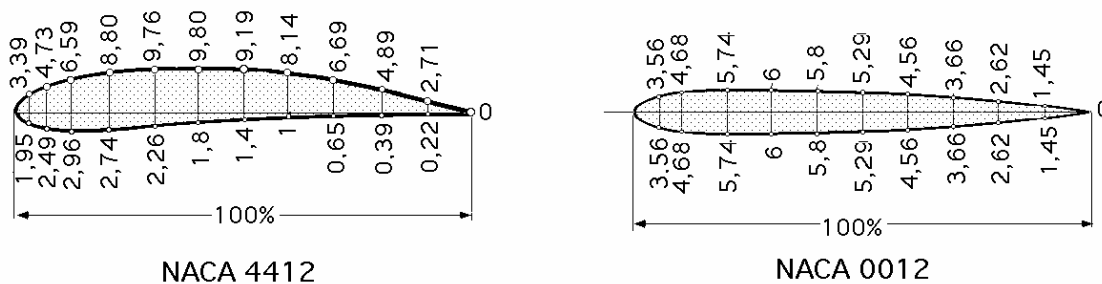


Figura 2.8.- Perfiles NACA

Ejemplo: El perfil NACA2415, tiene un 2% de altura máxima de la línea media, situada a un 40% del borde de ataque, con un espesor relativo del 15%. Los perfiles NACA44XX tienen el intradós con parte convexa, por lo que son de construcción más compleja y al igual que los anteriores el XX indica el máximo espesor del perfil.

---

## Velocidad angular máxima

La velocidad angular máxima  $w_{m\acute{a}x}$  es:

$$w_{m\acute{a}x} = \left(\frac{dN}{dC}\right)_{M\acute{A}X} = \frac{\pi n_{m\acute{a}x}}{30}$$

En los aerogeneradores de eje horizontal, para obtener una velocidad angular  $w$  uniforme, es necesario que tanto la velocidad  $v$  del viento, como su dirección, permanezcan constantes respecto a la pala. La relación (TSR =  $\cotg \varphi$ ) está comprendida entre 0,2 y 13, lo que permite hacer la siguiente clasificación de maquinaria eólica de eje horizontal:

- Para grandes molinos .....  $u/v < 1$
- Para aerogeneradores de palas múltiples .....  $u/v 3$
- Para aerogeneradores rápidos de hélice .....  $u/v 10$

---

**CAPÍTULO 3**  
**MATERIALES**  
**EMPLEADOS EN LA**  
**CONSTRUCCIÓN DE**  
**AEROGENERADORES**

---

Los pequeños aerogeneradores se caracterizan por su gran variedad, con diferentes formas y tamaños. Sin embargo, en los últimos tiempos han ido cambiando hacia una configuración común. Si bien pueden parecer distintos, en realidad son muy similares.

Muchos pequeños aerogeneradores trabajan aislados de la red. Antes que todo, hay que recordar que la tecnología de los aerogeneradores que trabajan aisladamente es diferente a la tecnología que se emplea para las turbinas eólicas conectadas a la red.

Las diferencias entre ambas tecnologías afectan todas las partes o subsistemas, los pequeños aerogeneradores no conectados a la red se emplazan ahí donde existe una cierta necesidad de energía eléctrica y la demanda que se debe satisfacer está dada por la aplicación para la cual ha sido seleccionado el aerogenerador.

De los pequeños aerogeneradores el aerogenerador de mayor potencia es de 40 000 W y 12 m de diámetro. El más pequeño es de 5 W y 0,53 m de diámetro, la mayoría de los pequeños aerogeneradores son de eje horizontal de cara al viento o a barlovento (reciben el viento de frente) y poseen los siguientes subsistemas: rotor, generador eléctrico, sistema de frenado, sistema de orientación, sistema de regulación de velocidad de giro y torre soportante. También los hay de eje vertical, con sus ventajas y desventajas, y con varias formas, pero en mucha menor cantidad.

## **Rotor**

El rotor es de tipo hélice. En la tecnología actual el rotor más frecuente es el de dos y tres palas o álabes, aunque los hay hasta de seis palas con soluciones intermedias de tres, cuatro y cinco palas. Es decir, la mayoría de los modelos existentes son tripalas y bipalas. La única ventaja de los rotores bipalas es que el precio inicial es más bajo, pero los tripalas trabajan más uniformemente y por consecuencia duran más. Mayores números de palas se corresponden con turbinas eólicas de potencia nominal menor de 250 W. La

---

mayoría de los pequeños aerogeneradores emplean materiales compuestos para la fabricación de las palas. El material más usado es la fibra de vidrio reforzada con poliéster. Una última tendencia es el uso de la fibra de carbono. Algunas se fabrican de madera, PVC con protección ultravioleta y aluminio.

### **Generador eléctrico.**

La mayoría de los modelos existentes emplean conexión directa entre el rotor y el generador eléctrico, es decir, no poseen caja multiplicadora, aunque no están ausentes en la totalidad de los modelos. La tendencia más generalizada en los pequeños aerogeneradores es a la utilización de generadores síncronos de imanes permanentes (PMG), principalmente de neodimio, en todo el rango de potencias existente, aunque los de menor potencia emplean casi exclusivamente generadores de imanes permanentes, este generador es el más simple, eficiente y más robusto y suelen tener 4, 6, 8 o 10 polos, en algunos casos los de mayor potencia son de inducción es decir, utilizan embobinados para producir el campo magnético. La mayoría produce corriente alterna trifásica para hacer un mejor uso del espacio dentro de la carcasa del generador.

Es común el uso del diseño invertido, en el cual la carcasa gira unida al rotor (que son principalmente de hierro dulce o acero al silicio en donde están colocados los imanes) por fuera del estator (donde están alojadas las bobinas hechas con alambre magneto de cobre o aluminio).

### **Sistema de orientación.**

Todos los aerogeneradores de eje horizontal tienen un cojinete (balero alrededor del cual gira y se coloca de frente al viento. A la línea vertical que pasa por este cojinete se le conoce como eje de orientación. Debido a las dimensiones, los pequeños aerogeneradores no tienen espacio para instalar los mecanismos de transmisión y los motores eléctricos

---

que orientan al rotor de frente al viento, presentes en los grandes aerogeneradores. Por esto, el sistema de orientación de estos pequeños aerogeneradores es por veleta de cola, excepto en los modelos a sotavento (o de espalda al viento), que no la necesitan. Aparecen las veletas tanto de forma recta horizontal, como elevada con respecto al eje de rotación del rotor y están hechas principalmente de metal (aluminio o hierro), madera, plástico, fibra de vidrio, entre otros.

### **Carcasa.**

Es la cubierta exterior que protege el generador eléctrico, la caja de engranes y las conexiones eléctricas del aerogenerador de la intemperie, principalmente están hechas de plástico, fibra de vidrio, fibra de carbono, aluminio y diferentes resinas.

### **Sistema de regulación de la velocidad de giro.**

No resulta económico instalar un gran aerogenerador que sea capaz de convertir en electricidad toda la potencia contenida en las altas velocidades del viento. Entonces, ésta potencia que no puede ser absorbida provoca elevadas velocidades de giro que traen como resultado excesivas fuerzas centrífugas e indeseables ruidos y vibraciones que son condiciones de trabajo peligrosas. Si el rotor tiene un diámetro mayor a dos metros, ésta elevada velocidad de giro debe evitarse. Por lo general, todos los aerogeneradores, tanto grandes como pequeños, poseen un medio para controlar el rotor expuesto a fuertes vientos, es decir, todos poseen algún medio para prevenir que se supere la velocidad límite de rotación de diseño y lo mantenga dentro de los límites de diseño. Existen varias soluciones para controlar la velocidad de giro en los pequeños aerogeneradores.

*Regulación por desorientación:* El rotor se pliega en el plano horizontal con respecto a la dirección del viento y el rotor gira hacia la cola. El flujo de viento a través del rotor se ve reducido por la disminución del área que enfrenta a éste al ponerse el rotor de lado.



---

De esta forma la potencia que se extrae del viento es reducida. Éste es el sistema empleado en los molinos de viento multipalas, usados en el bombeo de agua.

*Regulación por cabeceo:* El rotor se pliega igual al caso anterior, pero en el plano vertical, es decir, el rotor se mueve verticalmente. El efecto es el mismo; el área de enfrentamiento del rotor se reduce en función de la magnitud de la velocidad del viento.

En ambos casos, cuando la velocidad del viento aumenta, la fuerza de empuje axial sobre el rotor también aumenta; cuando ésta fuerza alcanza el valor que hace activar el mecanismo de desorientación, el aerogenerador se ubica en una posición no perpendicular al viento, lo que limita la velocidad de giro y la potencia entregada. En un caso el movimiento del rotor es horizontal y en el otro vertical (por cabeceo).

*Regulación por cambio de paso:* Es un sistema similar al empleado en los grandes aerogeneradores, pero con la diferencia de que los pequeños usan sistemas de cambio de paso pasivos, en los que la variación del ángulo de paso de las palas se produce mediante mecanismos centrífugos. El ajuste del ángulo de la pala cambia el ángulo de ataque y se reduce la fuerza de sustentación sobre la pala.

*Regulación por pérdida aerodinámica:* Este sistema es igual al utilizado en los grandes aerogeneradores.

*Sin regulación:* En este caso el aerogenerador se diseña para soportar las cargas que se produzcan en todas las condiciones de operación, incluidas las velocidades de giro que puedan presentarse en funcionamiento en vacío. Es común ver esta solución en los aerogeneradores más pequeños.

---

Los sistemas más comunes son por cabeceo de la turbina eólica y por cambio de paso pasivo.

### **Torre.**

Las torres más usadas son las atirantadas o con tensores, las tubulares y las de celosía y está hechas principalmente de fierro o acero. Los tensores (cables de acero) son generalmente indeseables por ser vulnerables a provocar accidentes y daños; además, no son agradables a la vista. Las torres tubulares (tubos de acero acoplados que van de un diámetro mayor en la base y van disminuyendo al aumentar la altura) son las más preferidas, pero están sometidas a mayores tensiones, son más pesadas y más caras que las atirantadas, las de celosía son armadas con segmentos de metal formando triángulos en una pirámide cuyos vértices son largueros de fierro. Finalmente, la más frecuente es la tubular con tensores. Estas deben ser capaces de resistir las fuerzas máximas que aparecen durante el levantamiento del aerogenerador y las tormentas.

### **Base.**

Principalmente es un bloque de cemento armado o concreto en donde se asienta la torre, debe de tener el espesor adecuado para soportar el peso de la torre y el del aerogenerador.

---

**CAPÍTULO 4**  
**PROPUESTA DE DISEÑO**  
**DEL AEROGENERADOR**

---

El diseño de los componentes del sistema aerogenerador: generador eléctrico, rotor eólico y sistema de orientación, se basa en la compatibilidad de los parámetros de la turbina eólica con los del generador eléctrico y a su vez con las características típicas del viento predominante en las zonas de influencia.

## **GENERADOR ELÉCTRICO DE IMANES PERMANENTES**

En este tipo de máquinas, el campo de excitación es de dirección constante formado por medio de imanes permanentes; ante la falta de pérdidas en el devanado de excitación, poseen un mejor rendimiento siempre que la geometría de diseño sea óptima y los imanes trabajen en su punto máximo de operación de energía  $(HB)_{max}$ . Esta máquina eléctrica se distingue de sus análogas, por la estructura de sus sistemas magnéticos de hierro giratorio, cuyas características están gobernadas bajo la teoría de las máquinas de excitación electromagnética. Es de característica geométrica tipo disco, diseñada para trabajar específicamente con una turbina eólica. Las consideraciones para el diseño son: velocidad de giro del rotor condicionado por la velocidad del viento, voltaje de salida y la geometría constructiva para encontrar el punto máximo de trabajo del imán en el circuito magnético.

## **CARACTERÍSTICAS DEL AEROGENERADOR.**

Los dos discos del rotor deben estar montados sobre un eje con baleros gracias a un buje, para que puedan rotar sobre el eje. Los rotores magnéticos estarán unidos directamente a las palas del aerogenerador. Este diseño permitirá minimizar la complejidad del proyecto. Entre los dos discos magnéticos del rotor hay un estator, compuesto por las bobinas de alambre magneto cubiertas con resina plástica, al girar el rotor se induce en las bobinas una diferencia de potencial (voltaje) debido al corte de las líneas de campo magnético de los imanes, ésta tensión permitirá que la batería se cargue al existir una circulación de corriente eléctrica.

---

El aerogenerador producirá corriente alterna (AC), las bobinas estarán dispuestas en tres fases para hacer más eficiente el uso del espacio disponible y que, a la salida del rectificador la tensión de la corriente continua sea lo más lisa posible. Las partes del aerogenerador se detallan a continuación.

### **Rotores magnéticos**

El rotor del aerogenerador consiste en dos discos iguales de acero a los que se le pegan a cada uno 8 imanes de Neodimio (NdFeBN35) equidistantes, encargados de crear la variación de campo magnético al girar. Es necesario que el disco y los imanes formen una sola estructura ya que son las piezas que tendrán movimiento y se debe evitar que se despeguen los imanes por la fuerza centrífuga a la que estarán sometidos. Cada rotor magnético está constituido por un disco de acero de 310 mm de diámetro, de 6 mm ó ¼ de pulgada de grosor, y un agujero central de 65 mm de diámetro.

### **Los imanes**

Los 8 imanes o bloques magnéticos que lleva cada disco del rotor, son bloques de Neodimio (NdFeBN35) de 50x50x20 mm, y van colocados planos sobre el disco de acero. Cada imán tiene un polo norte y un polo sur. La polaridad de un imán está distribuida tal como se indica en la Figura 4.1 y en cada disco magnético está distribuida de manera diferente.

### **Estator**

La figura 4.2, muestra el estator, el cual consiste en un elemento circular sólido que contiene las bobinas equidistantes en su interior. Se debe realizar acomodando las seis bobinas propuestas en un molde en forma de anillo y después se tendrá que vaciar resina para formar un solo cuerpo. Las dimensiones del molde son 36.0 cm. de diámetro exterior

---

12 cm. de diámetro interior. El posicionamiento de las bobinas, quedara determinado por la propia forma del estator, es decir, las bobinas estarán a  $60^\circ$  cada una. El estator tiene forma de anillo, de tal modo que todas las bobinas distan de su centro, al centro del estator, unos 12.5 cm. aproximadamente.

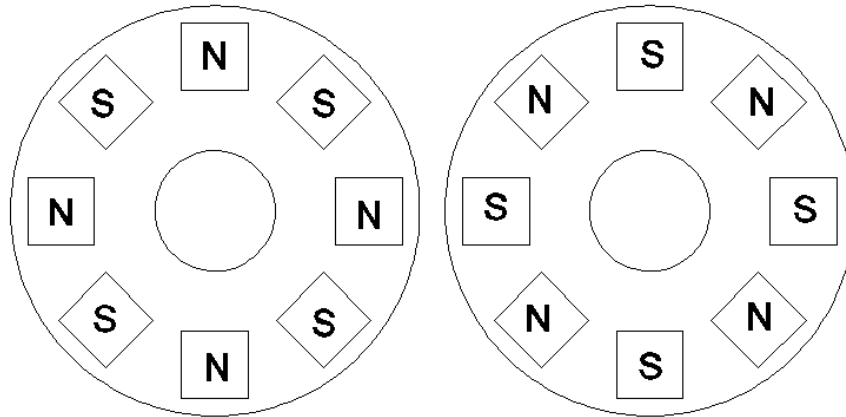


Figura 4.1.- Distribución de los imanes en el rotor.

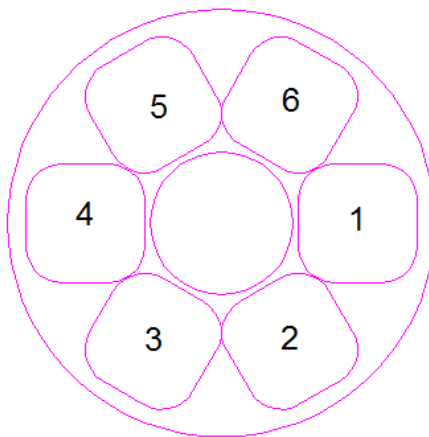


Figura 4.2.- Distribución de las bobinas en el estator.

---

## Las bobinas

Cada una de las bobinas debe fabricarse con 100 vueltas de alambre magneto de calibre 17 (1.151 mm) de diámetro. Debe tener aproximadamente un cuadrado de 110 x 110 mm, con un espacio interior de 50 x 50 mm y un espesor de 13 mm. Los extremos de las bobinas van soldados a 12 cables de cobre, del mismo calibre que sobresalen del bloque del estator, para realizar la conexión eléctrica deseada de las bobinas.

### **Cálculo teórico de la tensión en el aerogenerador.**

La tensión generada en el aerogenerador será de forma alterna (senoidal), debido a la variación del flujo magnético provocada por el movimiento del rotor, con respecto a las bobinas. Para determinar la tensión de salida del aerogenerador en función de la velocidad de rotación del aparato (rpm), en primer lugar se tomará en cuenta la tensión inducida en una bobina, con sus características en el tiempo, después se tomará en cuenta la relación entre las tensiones temporales de las seis bobinas. El aerogenerador se diseñará para ser conectado a una batería, lo que requiere de un sistema rectificador, mediante un puente de diodos, a la salida del generador.

### **Cálculo teórico de la tensión eficaz inducida en una bobina.**

Para calcular la tensión o fuerza electromotriz inducida  $e$  en una bobina habrá que calcular cómo varía el flujo en el tiempo, ya que la tensión inducida se calcula con la siguiente expresión:

$$e = \frac{-d\phi}{dt}$$

---

Donde

$e$  = fuerza electromotriz inducida (V)

$\varphi$  = flujo magnético (Wb)

El flujo magnético se obtiene como:

$$\varphi = B(t) \cdot S \cdot N$$

Donde

$B(t)$  = inducción o campo magnético en función del tiempo (T)

$S$  = superficie de una espira de la bobina atravesada por el campo magnético ( $m^2$ )

$N$  = número de espiras que constituyen una bobina (número de vueltas)

El flujo magnético en este tipo de aerogenerador es un flujo axial (es decir perpendicular al radio de giro del aerogenerador) de manera que los dos rotores de imanes permanentes generan un campo magnético entre cada uno de sus pares de polos de manera alterna, como se deriva de la disposición de los imanes.

Por lo tanto, si se toma como referencia una bobina cualquiera, el flujo que pasa a través de ella, en una vuelta entera del generador, tendrá: número de polos entre 2 valores máximos de flujo (por ejemplo cuando pasan un par de polos por delante de la bobina con el Norte en el rotor frontal y el sur en el rotor trasero) y número de polos entre 2 valores mínimos de flujo (cuando pasa un par de polos por delante de la bobina con el sur en el rotor frontal y el norte en el rotor trasero).

En la figura 4.3 se observa que la bobina está quieta y el rotor gira, se evalúan los valores de  $B(t)$  en ciertos ángulos determinados de giro del rotor con 8 pares de polos.



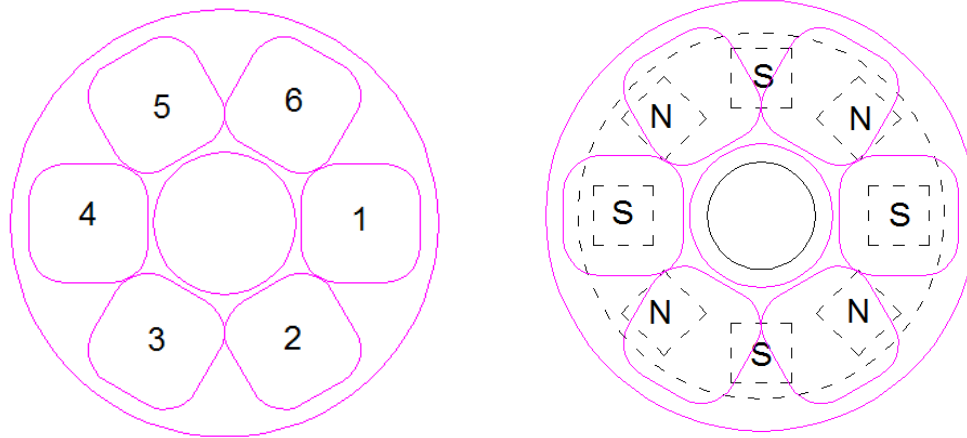


Figura 4.3. Posicionamiento de una bobina respecto los imanes del rotor.

Se evalúan los ángulos donde el campo magnético se sabe que será máximo en valor absoluto, para un rotor de 8 pares de polos:

Si:

$$\begin{aligned} \alpha = 0^\circ &\rightarrow B(t) = B \\ \alpha = 45^\circ &\rightarrow B(t) = -B \\ \alpha = 90^\circ &\rightarrow B(t) = B \\ \alpha = 135^\circ &\rightarrow B(t) = -B \\ \alpha = 180^\circ &\rightarrow B(t) = B \\ \alpha = 225^\circ &\rightarrow B(t) = -B \\ \alpha = 270^\circ &\rightarrow B(t) = B \\ \alpha = 315^\circ &\rightarrow B(t) = -B \end{aligned}$$

Si se deben tener 4 máximos, la expresión senoidal tiene cuatro máximos y cuatro mínimos, con lo que se deduce que el número de máximos es la mitad que el número de pares de polos. Por lo tanto la expresión del campo magnético en función del tiempo que cumple estos valores es la siguiente:

---

$$B(t) = B \cos\left(\frac{p}{2} \alpha\right)$$

$$\alpha = \omega \cdot t$$

Donde

B = campo magnético uniforme creado entre dos bloques magnéticos enfrentados (T)

$\alpha$  = ángulo girado por el generador (rad)

$\omega$  = velocidad angular de giro del generador (rad/s)

t = tiempo transcurrido para girar un ángulo  $\alpha$  (s)

Por tanto, la ecuación resultante será:

$$\varphi = B \cdot S \cdot N \cdot \cos\left(\frac{p\omega t}{2}\right)$$

Se puede calcular el valor de la fuerza electromotriz inducida en una bobina, derivando la ecuación anterior, y así se obtiene la expresión de la tensión inducida con respecto al tiempo.

$$e = BSN \frac{p\omega}{2} \left(-\operatorname{sen} \frac{p\omega t}{2}\right)$$

Al tratarse de una tensión senoidal, la constante que multiplica al seno, es el valor máximo de la tensión, con lo cual el valor eficaz de la tensión inducida en una bobina será el máximo dividido por raíz de dos:

$$E_{ef} = BSN \frac{p\omega}{2\sqrt{2}}$$

---

En ésta ecuación  $N$ ,  $p$  y  $\omega$  son números que teóricamente son datos directos, y faltaría calcular el campo magnético uniforme ( $B$ ) que se crea en el espacio entre un par de polos enfrentados con polaridad opuesta y también hay que calcular la superficie  $S$  de una espira de una bobina que es atravesada por el campo magnético uniforme  $B$ .

### Cálculo de la superficie $S$ .

Se puede suponer que las líneas de inducción magnética abarcan una superficie cuadrada casi idéntica a la superficie de los bloques magnéticos, pero es algo superior ya que la disposición de las líneas de campo magnético son un poco abombadas debido a la distancia que existe entre los imanes, como se observa en la figura 4.4.

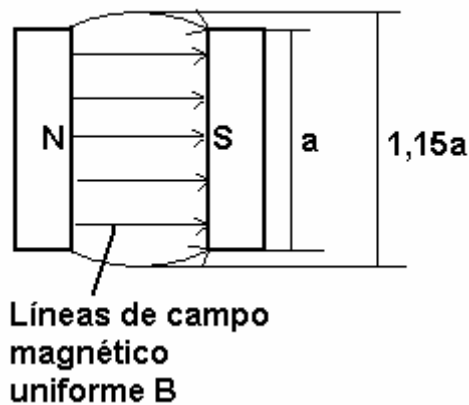


Figura 4.4. Líneas de campo magnético.

Un cálculo aproximado de la superficie (cuando la superficie de los imanes sea inferior a la superficie media abarcada por una espira) será:

$$S = (1.15a)^2$$

Donde:

$a$ : dimensión del bloque magnético (m)

$S$ : superficie ( $m^2$ )

---

## Cálculo del campo magnético uniforme B.

Para calcular el campo magnético uniforme B, que es creado al colocar dos imanes idénticos, enfrentados con polaridad opuesta, hay que conocer los parámetros característicos de los imanes, de su colocación y del material que se interpone entre ellos. Los parámetros de los que depende el campo magnético B creado entre los imanes, son principalmente la distancia entre imanes (20 mm.), la dimensión de un polo del imán (50 mm. x 50 mm.), la inducción remanente  $B_r$  (T) característica del tipo de imán (1.11 T para los imanes propuestos) y finalmente es determinante el tipo de material que se encuentra entre los imanes y las propiedades magnéticas de éste. Estas propiedades magnéticas dependen de varios factores, uno es el aire que existe entre los imanes y el estator (anillo formado por las bobinas encapsuladas en resina) y las propiedades magnéticas del propio anillo. Una forma de encontrar este valor es utilizando las siguientes ecuaciones:

$$B_r = \mu \frac{A_g}{A_m} \frac{2e}{I_g} H_m$$

$$B = \frac{A_m}{A_g} B_r$$

Donde:

- Br: Densidad de Campo magnético en la superficie del imán
- B: Densidad de campo magnético promedio dentro del entrehierro
- Ag: Área transversal promedio del entrehierro
- e: Espesor del imán
- Ig: Separación que existe entre los imanes opuestos
- Am: Área transversal del imán
- $\mu$ : Permeabilidad magnética del núcleo (aire)
- Hm: Intensidad de campo magnético en la superficie del imán

Estas fórmulas consideran que el entrehierro está constituido por aire y en este diseño el entrehierro tendrá además de aire, el estator. Otra manera de determinar el campo magnético es utilizando una tabla desarrollada a partir de datos experimentales realizados por ITDG (Intermediate Technologies Development Group) y la Universidad Nacional de Ingeniería de Perú, para aerogeneradores de imanes permanentes. Para un mismo tipo de aerogenerador, dependiendo  $B_r$  del tipo de imán utilizado. Se determinó que el campo magnético uniforme  $B$  en el estator, para imanes de Ferrita es de 0,2 T y para imanes de Neodimio de 0,585 T. Con lo que se demuestra que hay una relación proporcional entre  $B$  y  $B_r$ , que se mantiene constante como se ha deducido en la tabla 4.1:

<b>Tipo de Imán</b>	<b>Inducción remanente <math>B_r</math> (T)</b>	<b>Inducción creada en el estator <math>B</math>(T)</b>	<b>Relación <math>B_r/B</math></b>
Ferrita	0.38	0.2	1.900
Neodimio (NdFeB)	1.11	0.585	1.897

Tabla 4.1. Relación entre la inducción remanente y la inducción exterior.

Por lo tanto, el campo magnético uniforme  $B$  (T), creado en el plano intermedio de los dos rotores (plano del estator), para el generador de imanes permanentes diseñado será:

$$B = \frac{B_r}{1.9}$$

### **Cálculo teórico de la tensión de salida del generador**

Para calcular la tensión alterna de salida que aportan todas las bobinas que forman el estator del aerogenerador, es necesario conocer el número de bobinas y su colocación en el estator. En nuestro caso se tienen 6 bobinas, dispuestas de forma equidistante (el ángulo entre los centros de las bobinas adyacentes es de  $60^\circ$ ), de manera que en un momento

determinado se tiene la siguiente disposición de imanes y bobinas superpuestas sobre los imanes. En la figura 4.5 se observa dicha distribución.

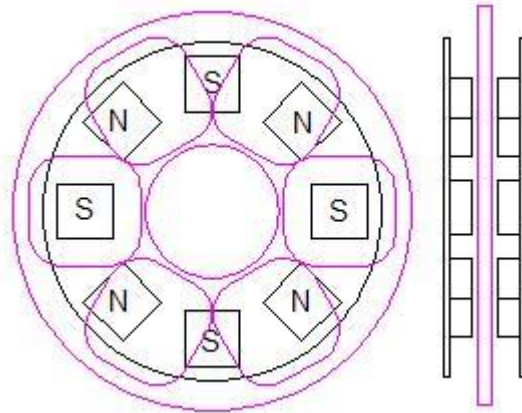


Figura 4.5. Bobinas superpuestas sobre los imanes

Observando esta disposición se puede apreciar que las bobinas están en fase dos a dos, es decir, que las bobinas 1 y 4 se ven afectadas por las mismas variaciones de campo magnético y de igual modo les sucede a las bobinas 2 y 5 y a las bobinas 3 y 6. De la misma forma que se ha deducido la expresión del campo magnético para una bobina que consideraremos es la bobina 1, se pueden deducir las expresiones del campo magnético en función del tiempo para todas las bobinas. De modo que el campo magnético que pasa por las bobinas 1 y 4 es el mismo:

$$B(t)_{1,4} = B \cos\left(\frac{p\omega t}{2}\right)$$

Para ver cuál es el campo que afecta a las bobinas 2 y 5 se evalúan los ángulos donde el campo magnético se sabe que será máximo en valor absoluto, para un rotor de 8 pares de polos, si:

---

$$\alpha = 30^\circ (\pi / 6) \rightarrow B(t) = B$$

$$\alpha = 75^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

$$\alpha = 120^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$\alpha = 165^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

$$\alpha = 210^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$\alpha = 255^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

$$\alpha = 300^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$\alpha = 345^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

Por lo tanto se deduce que el campo magnético que pasa por las bobinas 2 y 5 es

$$B(t)_{2,5} = B \cos\left(4\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

Se repite el procedimiento para evaluar es el campo que afecta a las bobinas 3 y 6 y se evalúan los ángulos donde el campo magnético se conoce que será máximo en valor absoluto, para un rotor de 8 pares de polos, si:

$$\alpha = 15^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$\alpha = 60^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

$$\alpha = 105^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$\alpha = 150^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

$$\alpha = 195^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$\alpha = 240^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

$$\alpha = 285^\circ \rightarrow B(t) = B$$

$$\alpha = 330^\circ \rightarrow B(t) = -B$$

Por lo tanto se deduce que el campo magnético que pasa por las bobinas 3 y 6 es

---

$$B(t)_{3,6} = B \cos\left(4\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

Derivando estas últimas tres ecuaciones con respecto al tiempo tenemos:

$$e_{1,4} = BSN4\omega \operatorname{sen}(4\omega t)$$
$$e_{2,5} = BSN4\omega \operatorname{sen}\left(4\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$
$$e_{3,6} = BSN4\omega \operatorname{sen}\left(4\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

De estas expresiones se observa que la tensión eficaz en todas las bobinas será:

$$V = \frac{BSN4\omega}{\sqrt{2}}$$

Además,  $\omega$  se puede expresar como:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Donde:

$\omega$ : velocidad angular del aerogenerador (rad/s)

$n$ : velocidad angular del aerogenerador (rpm)

Por lo tanto, la ecuación de la tensión en una bobina:

$$V = \frac{BSN2\pi n}{15\sqrt{2}}$$



---

Substituyendo los valores para el voltaje del aerogenerador diseñado tenemos:

$$B = \frac{Br}{1.9} = \frac{1.11 T}{1.9} = 0.5842 T$$

$$S = (1.15a)^2 = (1.15 \times 0.05m)^2 = 0.00331m^2$$

Donde

$$N = 100 \text{ espiras}$$

$$V = \frac{BSN2\pi n}{15\sqrt{2}} = \frac{(0.5842T)(0.00331m^2)(100)(2)\pi n}{15\sqrt{2}} = 0.0573n$$

Se obtiene el valor teórico de la tensión en cada bobina, en función de las rpm:

$$V = 0.0573n \text{ (V/rpm)}$$

Al estar desfasadas las parejas de bobinas  $120^\circ$  entre ellas, si se conectan ya sea en serie o en paralelo las bobinas 1 con la 4, la 2 con la 5 y la 3 con la 6, se obtiene un sistema de generación eléctrica trifásico. Al conectar en serie las bobinas se puede considerar que las bobinas 1 y 4 forman una sola bobina equivalente con el doble de resistencia, inductancia y tensión. Lo mismo sucede con las otras parejas de bobinas al conectarse en serie la 2 con la 5 o la 3 con la 6.

Finalmente, para conocer cuál será la tensión alterna de línea de salida habrá que estudiar tres casos de interconexión de las bobinas; un primer caso de conexión en estrella con las parejas de bobinas conectadas en serie, una segunda posible conexión en triángulo con las parejas de bobinas conectadas en serie y el tercer caso que será el que se explica en la conexión definitiva de las bobinas del generador de este proyecto, en el que se realiza la

---

conexión Doble-Estrella que consiste en conectar las bobinas en fase en paralelo y las 3 parejas en estrella.

## TURBINA EÓLICA

El diseño del álabe está basado en la teoría del ala, utilizando un perfil estandarizado para las secciones de los álabes. Para el cálculo de las dimensiones del rotor se han empleado las ecuaciones aerodinámicas siguientes.

$$P = \frac{1}{2} \rho AV^3 C_p \eta_e \eta_t$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$d = \sqrt{\left( \frac{8 \cdot P}{\pi \cdot \rho \cdot V^3 \cdot C_p \cdot \eta_e \cdot \eta_t} \right)}$$

Donde:

d: Diámetro del rotor de la turbina eólica (m)

P: Potencia de diseño del aerogenerador (W)

$\rho$ : Densidad del aire, variable con la a.s.n.m (1.23 kg/m<sup>3</sup> a nivel del mar)

V: Velocidad del viento (m/s)

A: Área barrida por la turbina (m<sup>2</sup>)

$C_p$ : Coeficiente de potencia (adimensional)

$\eta_e$ : Eficiencia del generador

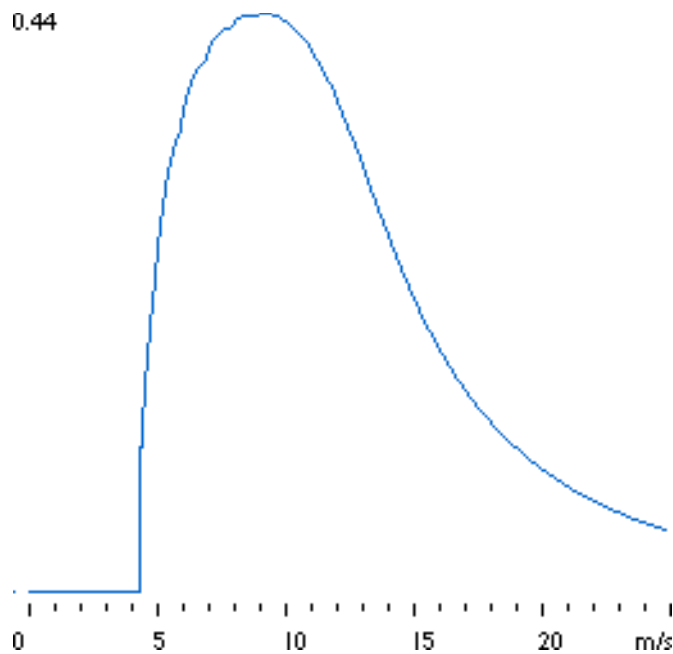
$\eta_t$ : Coeficiente de transmisión (igual a 1 por ser transmisión directa)

---

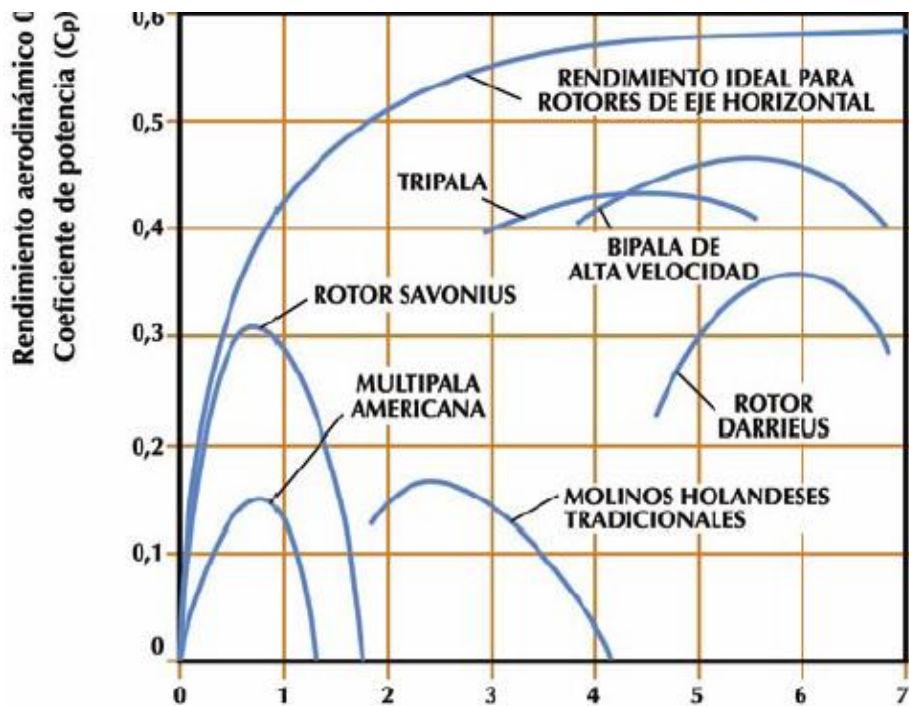
## Cálculo del diámetro del rotor

Proponiendo  $C_p = 0.45$  de acuerdo a la gráfica 4.1, con una velocidad promedio de 5.73 m/s y un generador tripala obtenemos un valor de 2.21 metros (gráfica 4.2), asumiendo una eficiencia en el generador del 75%, que es un valor típico para este tipo de generadores.

$$d = \sqrt{\left( \frac{8 \cdot P}{\pi \cdot \rho \cdot V^3 \cdot C_p \cdot \eta_e \cdot \eta_t} \right)} = \sqrt{\left( \frac{8(150)}{\pi(1.23)(5.73)^3(0.75)(0.45)} \right)} = 2.21 \text{ mts}$$



Gráfica 4.1.- Coeficiente de potencia



Grafica 4.2.- Gráfica de velocidad típica contra rendimiento aerodinámico

## COEFICIENTE DE POTENCIA

El coeficiente de potencia indica con qué eficiencia el aerogenerador convierte la energía del viento en electricidad. Para calcular el coeficiente de potencia para cada velocidad, se divide el valor de la potencia eléctrica para cada velocidad, sacado de la curva de potencia, entre el área de barrido del rotor, obteniendo así la potencia disponible por metro cuadrado. Posteriormente, para cada velocidad, se divide el resultado anterior entre la cantidad de potencia en el viento por  $m^2$ .

El gráfico 4.1 muestra la curva del coeficiente de potencia de un aerogenerador típico. Aunque la eficiencia media de estos aerogeneradores suele estar por encima del 20%, la eficiencia varía mucho con la velocidad del viento. Como se observa, la eficiencia

---

mecánica del aerogenerador más alta (45%) se da a velocidades alrededor de 9 m/s. Este valor es un dato elegido deliberadamente por los constructores de turbinas, ya que:

i) A bajas velocidades del viento la eficiencia del aerogenerador no es importante, ya que la energía del viento no es mucha.

ii) A altas velocidades, la eficiencia tampoco interesa que sea muy alta, por un doble motivo, según la densidad de potencia a altas velocidades ésta es baja y además hay peligro de ruptura del aerogenerador, por lo que éste se para a esas velocidades.

La eficiencia interesa que sea alta en aquellas zonas de velocidades de viento más frecuentes, donde se encuentra la mayor parte de la energía.

## **MEDICIONES ANEMOMÉTRICAS**

Las mediciones más importantes que se realizan son: Una recopilación de datos de la velocidad que el viento tiene en el lugar escogido, la frecuencia de velocidad que se presentan en un periodo determinado y el establecimiento de las direcciones más frecuentes en las que el viento sopla.

**Velocidad.** El viento es, por definición, el movimiento del aire. Se determina por su velocidad, de la cual depende su potencial energético. Para este propósito se utilizó la información generada por la estación meteorológica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

**Frecuencia de velocidades:** También ha de calcularse la frecuencia o la fracción de tiempo que el viento sopla a una determinada velocidad. Los vientos suaves son más

frecuentes y los vientos fuertes son más escasos pero tienen un mayor contenido energético.

La frecuencia del viento suele describirse usando modelos matemáticos estadísticos, que en nuestro caso es utilizar la media o promedio y la desviación estándar de las velocidades usando los datos proporcionados por la estación meteorológica desde el 2000 al 2008.

En la tabla 4.3 se encuentran los promedios anuales de las velocidades del viento a una altura de 6 a 8 metros sobre el nivel del suelo en la misma unidad. Así como los valores mínimos y máximos estadísticos. En el anexo 1 se presentan todas las lecturas registradas en el periodo de tiempo antes mencionado.

MES	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	PROM
<b>ENERO</b>	5,40	4,82	5,48	5,17	8,14	5,26	4,36	3,56	4,71	5,21
<b>FEBRERO</b>	5,02	4,60	5,80	6,27	10,70	5,80	4,95	4,65	5,69	5,94
<b>MARZO</b>	5,45	7,06	6,39	10,84	7,90	6,62	5,21	7,02	4,47	6,77
<b>ABRIL</b>	5,28	5,40	5,97	6,97	8,41	4,38	5,61	4,93	6,95	5,99
<b>MAYO</b>	5,02	5,75	5,34	9,03	6,37	7,03	6,03	4,94	5,90	6,16
<b>JUNIO</b>	5,76	5,52	5,10	12,24	6,06	6,36	5,00	5,16	5,80	6,33
<b>JULIO</b>	5,90	5,28	4,70	7,00	6,46	6,27	4,75	4,59	6,15	5,68
<b>AGOSTO</b>	4,60	7,34	4,41	6,02	4,98	4,59	4,65	5,11	5,92	5,29
<b>SEPTIEMBRE</b>	-	5,51	5,51	6,30	5,53	4,76	4,44	4,48	6,06	5,32
<b>OCTUBRE</b>	-	5,74	6,48	6,41	5,73	5,69	5,40	3,52	5,28	5,53
<b>NOVIEMBRE</b>	-	5,25	4,50	5,72	7,55	7,26	5,15	4,68	4,75	5,61
<b>DICIEMBRE</b>	-	4,93	4,47	4,54	6,14	6,92	4,21	3,89	4,52	4,95
<b>PROM</b>	5,3	5,6	5,3	7,2	7,0	5,9	5,0	4,7	5,5	<b>5,73</b>
<b>MAX</b>	5,9	7,3	6,5	12,2	10,7	7,3	6,0	7,0	7,0	7,77
<b>MIN</b>	4,6	4,6	4,4	4,5	5,0	4,4	4,2	3,5	4,5	4,41

Tabla 4.3. Velocidad del viento promedio mensual (m/s)

---

## CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE GIRO

La velocidad de giro de la turbina eólica se obtiene de la siguiente expresión:

$$N = \left( \frac{60 \cdot \lambda \cdot V_D}{\pi \cdot d} \right) \quad N = \left( \frac{60(5)(5.73)}{\pi(2.21)} \right) = 247.59 \text{ rpm}$$

Donde:

$\lambda$ : Celeridad

N: Velocidad de giro de la turbina eólica (rpm)

$V_D$ : Velocidad de diseño (m/s)

De la ecuación de la velocidad de giro, seleccionando el valor de 5 para la celeridad de diseño, valor moderado conveniente para zonas de regímenes de viento moderados como es el caso de la zona de aplicación de ésta turbina, se obtiene la velocidad de giro de 247.59 rpm.

## PALAS

Según sea el tipo de unión u anclaje de las palas con el buje existen dos posibles soluciones. Una de ellas son las palas de paso variable, las cuales admiten rotación controlada sobre su eje a través de unos rodamientos. Esta solución precisa de un equipo de control de paso electrónico. El controlador electrónico comprueba varias veces por segundo la potencia generada. Cuando ésta alcanza valores demasiado altos, el controlador envía ordenes al mecanismo de cambio de ángulo de paso, que hace girar las palas ligeramente. Este sistema precisa de una ingeniería muy desarrollada para asegurar que las palas giren exactamente el ángulo deseado.

Las palas de paso fijo no admiten rotación sobre su eje, realizándose el control de potencia mediante un diseño de pérdida aerodinámica de las palas. Esto se consigue

torsionando la pala a lo largo de su eje, es decir, aumentando el ángulo de ataque del perfil de la pala a lo largo de su eje. Gracias a esto, la pala pierde sustentación de forma gradual y se evita que se transmita un par excesivo sobre el rotor. Este tipo de solución es la más adoptada en aerogeneradores de baja potencia ya que comparada con las palas de paso variable, en ésta se evitan instalar partes móviles del rotor y un complejo sistema de control, que aumentan los costes considerablemente.

Finalmente se seleccionan palas de paso fijo debido a su mayor simplicidad y su menor coste.

### **CÁLCULO DE LA SECCIÓN DEL ÁLABE Y SELECCIÓN DEL PERFIL**

Se selecciona un perfil NACA 4412 por su buen coeficiente de sustentación, su facilidad para la fabricación y porque tiene una sección relativamente gruesa que permite soportar los esfuerzos en la raíz del álabe, aunque ésta rigidez tiene que ver también con los materiales que se utilizan, estudiando los ángulos de ataque, sustentación e inclinación de varias secciones se perfilan las palas.

Para el cálculo de la sección del álabe se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_r &= \frac{\lambda}{R} \\ \phi &= \frac{2}{3} \cdot \arctan\left(\frac{1}{\lambda_r}\right) \\ C &= \frac{8 \cdot \pi \cdot r \cdot (1 - \cos\phi)}{z \cdot C_1} \\ \beta &= \phi - \alpha \\ N &= \frac{w \cdot c}{\mu} \quad (\text{N. de Reynolds}) \end{aligned} \right\}$$



---

Donde:

$\lambda_r$ : Celeridad local para el radio  $r$

$\lambda$ : Celeridad de diseño

$r$ : Distancia del centro del rotor a la sección evaluada (m)

$R$ : Radio de la turbina (m)

$\beta$ : Ángulo formado por la velocidad relativa con el plano de giro del rotor

$C$ : Cuerda de la sección del álabe

$z$ : Número de álabes o palas

$C_l$ : Coeficiente de sustentación del álabe

$\phi$ : Ángulo formado por el álabe con el plano de giro

$\alpha$ : Ángulo de ataque, tomado del perfil seleccionado

$w$ : Velocidad relativa al perfil m/s

$\mu$ : Viscosidad cinemática del aire

En resumen, los parámetros de diseño considerados son los siguientes:

Potencia eléctrica:	150 W
Velocidad nominal de diseño:	5.73 m/s
Perfil utilizado:	NACA 4412
Número de palas:	3
$\lambda$ :	5
RPM:	247.59 rpm
$C_p$ :	0.45
$C_l$ :	0.8
Eficiencia de transmisión ( $\eta_t$ ):	1 (transmisión directa)
$\rho$ :	1,23 kg/m <sup>3</sup>
$\alpha$ :	5°

---

## LINEARIZACIÓN DEL ÁLABE

Este concepto es utilizado por los diseñadores y fabricantes desde comienzos de la década de los 80's; que consiste en transformar tanto a la cuerda (C) del álabe como al ángulo ( $\beta$ ) en parámetros lineales dependientes de la posición del radio. Las rectas de linearización toman como puntos de paso  $r=0.5R$  y  $r=0.9R$ . Luego, a partir de las rectas obtenidas se procede al cálculo de la cuerda y ángulo definitivos, ver resultados en la tabla 1.

Las dimensiones características de una pala están definidas según estaciones. Cada estación constituye una sección transversal de la pala, como se observa en la figura 4.6 y lleva asociada un número, el de la estación. Así se consigue caracterizar una pala sólo con determinar las dimensiones características de un número acotado de estaciones (secciones):

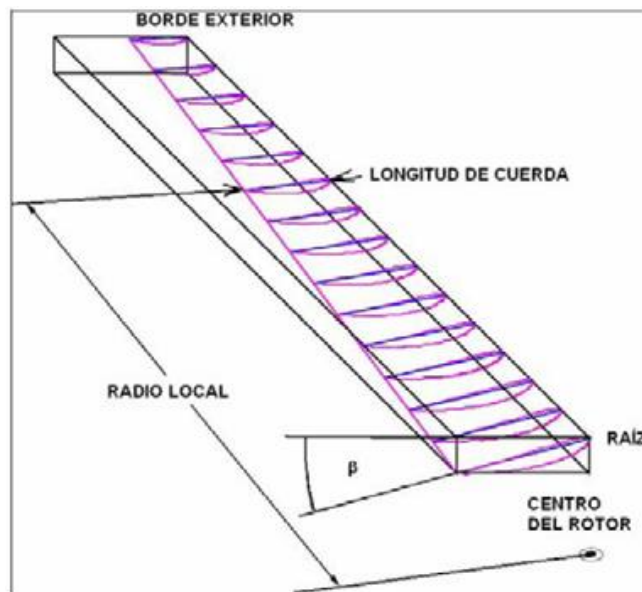


Figura 4.6.- Sección transversal de la pala.

El radio local, el cual es la distancia de la estación al centro del rotor.

La anchura de cuerda, que es la anchura de la pala de un extremo al otro en una estación determinada.

---

La línea de cuerda es la línea más larga dentro de la sección de la pala y es la que une el borde principal o de ataque con el borde posterior o de fuga.

El ángulo de la pala (beta), que es el ángulo entre la línea de cuerda de una estación determinada y el plano sobre el que gira el rotor.

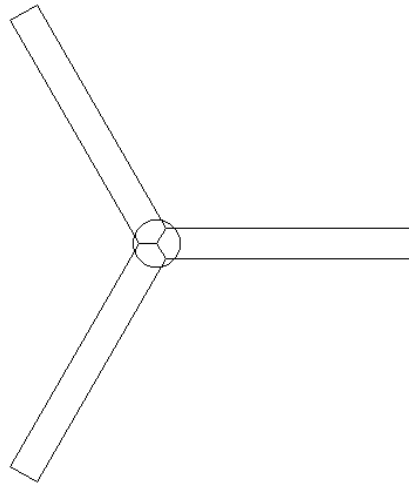


Figura 4.7. Distribución de los álabes.

## **MATERIALES PARA EL DISEÑO**

El rotor está diseñado para ser elaborado en madera de pino cubierto con resina, para darle mayor resistencia a las condiciones ambientales.

Para el generador eléctrico se contempló que los discos del rotor sean de fierro dulce, elemento que presenta propiedades magnéticas adecuadas. Las bobinas serán de alambre magneto de cobre calibre 17.

El sistema de orientación es por veleta y ésta diseñada para ser de aluminio.

La carcasa se contempló realizarla de fibra de vidrio con resina.

Al ser de baja potencia y velocidad, y como los álabes deben tener un diámetro de 2.21 metros, no contempla sistema de regulación de velocidad de giro.

Para la torre se contempló un diseño de torre tubular de sección circular con soporte de placa de acero de 6 mm y tensores para evitar el movimiento.

Debido a que está diseñado para el Laboratorio de Investigación en energías renovables de la FES Cuautitlán, en el diseño se contempla su ubicación en la azotea de la Unidad Multidisciplinaria, por lo que su base será el techo del edificio.

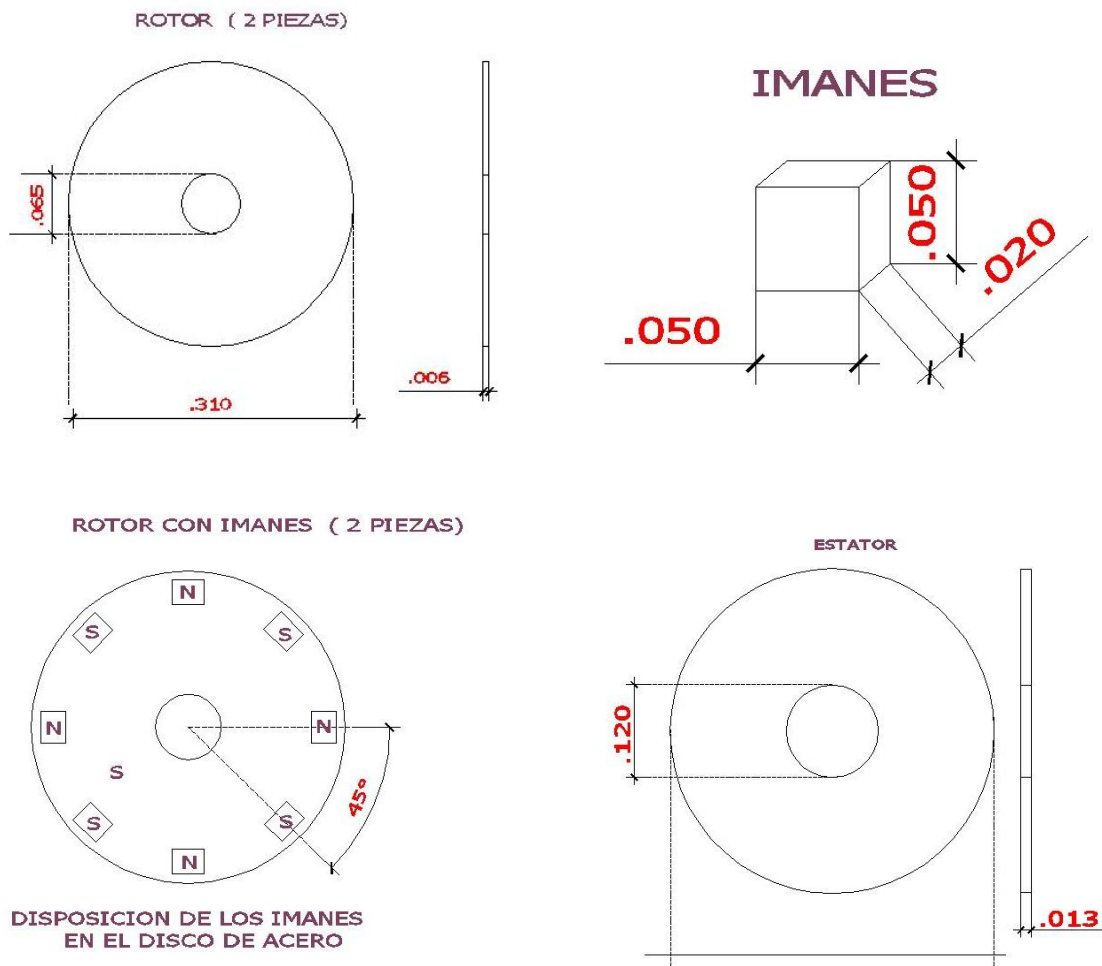


Figura 4.8a. Piezas que componen el aerogenerador (cotas en m.).

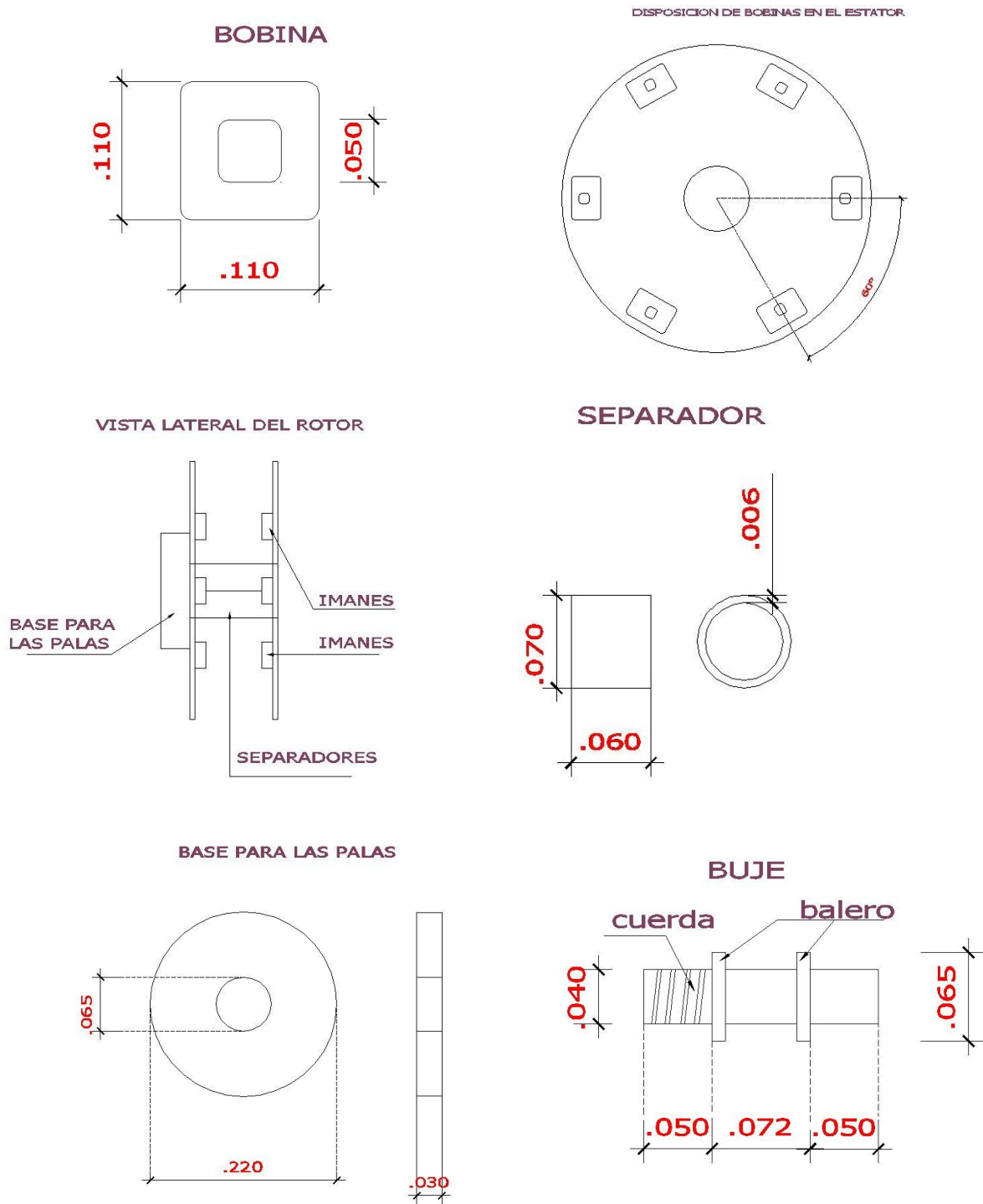


Figura 4.8b. Piezas que componen el aerogenerador (cotas en m.).

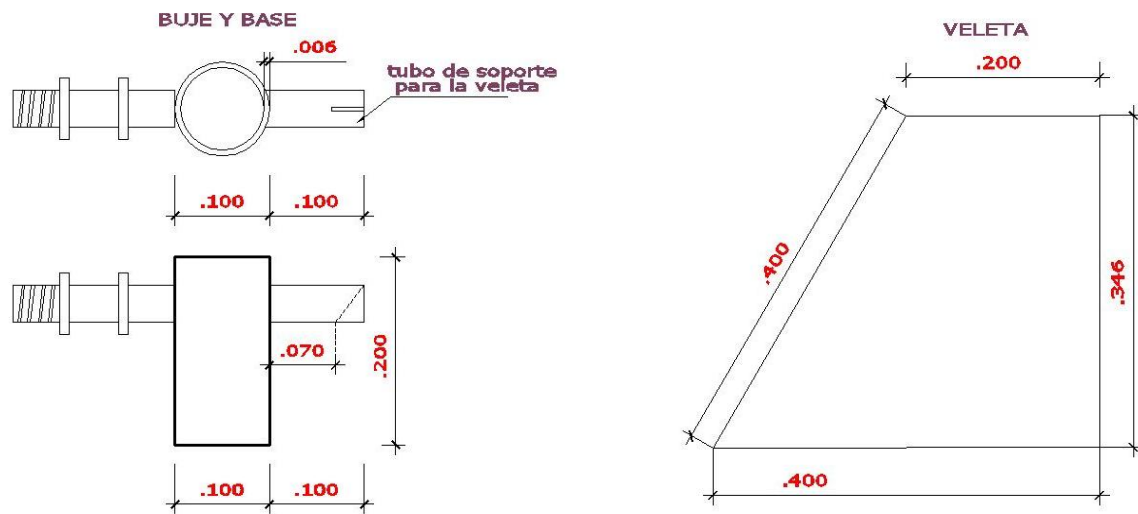


Figura 4.8c. Piezas que componen el aerogenerador (cotas en m.).

En la figura 4.9 se presenta el esquema del diseño del aerogenerador propuesto.

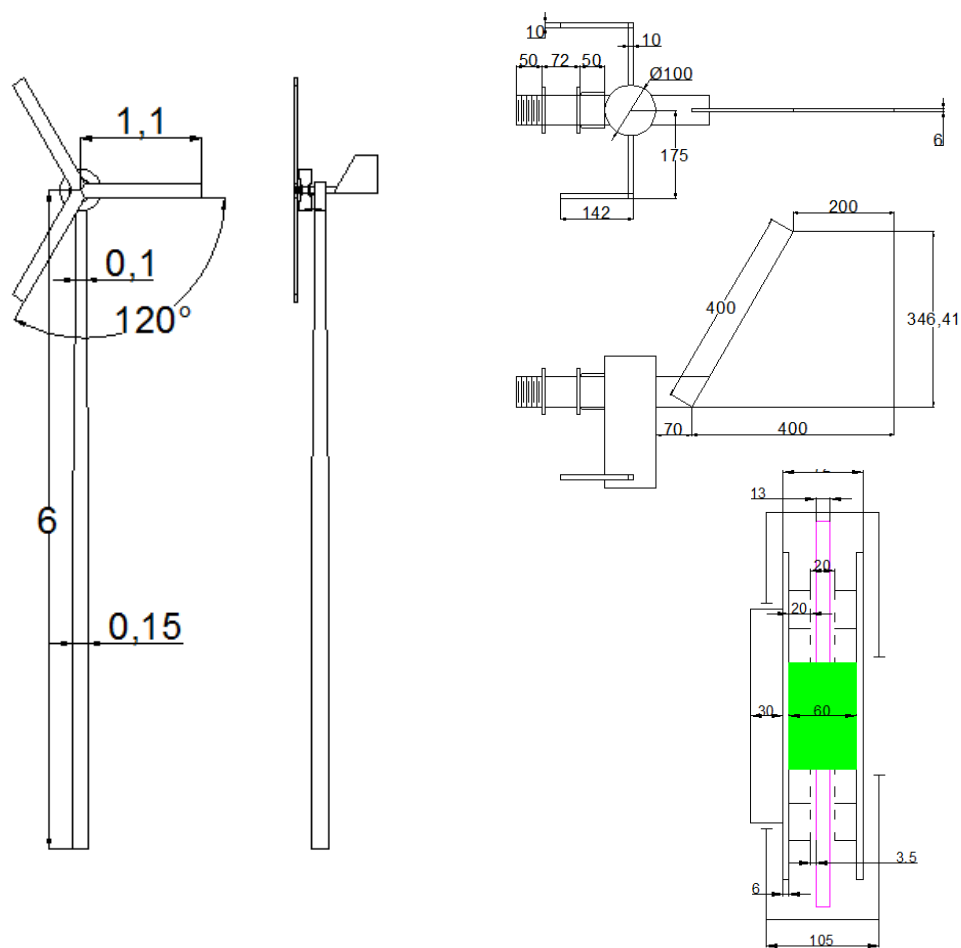


Figura 4.9. Esquema del diseño del aerogenerador propuesto.

---

# CONCLUSIONES

---

Con la realización de éste trabajo de tesis:

Aprendí como se realiza la búsqueda de información en revistas internacionales arbitradas así como en proyectos y trabajos de tesis.

Reafirmé el conocimiento acerca del funcionamiento y clasificación de los aerogeneradores.

Apliqué dichos conocimientos adquiridos para desarrollar el diseño de éste aerogenerador.

El diseño planteado permitirá obtener 150 W, con velocidades del viento moderadas.

El empleo de aerogeneradores es una alternativa viable para el suministro de energía eléctrica a pequeña escala.

La construcción del diseño planteado así como su mejora, podrá realizarse en proyectos posteriores.



---

# **BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**

---

## BIBLIOGRAFÍA

**Hansen, O.L.**, “Aerodynamics Wind Turbines, Rotors, Loads and Structure”, James& James-Inglaterra-1995

**Gasch, R., Twele J.**, “Wind Power Plants: Fundamentals, Design, Construction and Operation”, James& James, Inglaterra 1995

**ITDG**, “Small Wind Systems for Battery Charging”, Documentos internos, Lima 2000

**Campbell, Peter**, “Permanent Magnet Materials and Application”, Cambridge University Press 1994.

**Muljadi, E. Green, J.**, “Cogging Torque Reduction in a Permanent Magnet Wind, Turbine Generator”, National Renewable Energy Laboratory, U.K. 2002

**González, Salome**, “Aerogeneración: Una Fuente Energética Competitiva”, Depósito Legal AS- 3233-98 ISBN 8492334533, 2000.

**Romero Paredes Arturo**. Notas del curso: Energías renovables para ecoturismo. 32 Semana Nacional de energía solar. ANES. Mérida Yucatán 2008.

**ANES**. Notas del curso: Energía Eólica. 32 Semana Nacional de energía solar. Mérida Yucatán 2008.

## REFERENCIAS

[1] Vladislav Akhmatov y Hans Knudsen, An aggregate model of a grid-connected, large-scale, offshore wind farm for power stability investigations—importance of windmill mechanical system. *Electrical power and energy system* 24 (2002) 707 – 717.

[2] P. Flores, A. Tapia, G. Tapia, Application of a control algorithm for wind speed prediction and active power generation, *Renewable Energy* 30 (2005) 523–536.

[3] Baris Ozerdem, Serra Ozer, Mahir Tosun. Feasibility study of wind farms: A case study for Izmir, Turkey. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 94 (2006) 725–743

- 
- [4] Murat Gokcek, Ahmet Bayu lken, Sukru Bekdemir. Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Kirklareli, Turkey. *Renewable Energy* 32 (2007) 1739–1752
- [5] F. Ben Amar, M. Elamouri, R. Dhifaoui. Energy assessment of the First wind farm section of Sidi Daoud, Tunisia. *Renewable Energy*. 2008.

---

# **ANEXO**

**VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s) MES: ENERO**

<b>DÍA</b>	<b>2008</b>	<b>2007</b>	<b>2006</b>	<b>2005</b>	<b>2004</b>	<b>2003</b>	<b>2002</b>	<b>2001</b>	<b>2000</b>	<b>PROM</b>
<b>1</b>	3,6	7,2		2,5	7,2	5,4	3,6	1,80	7,20	4,81
<b>2</b>	18,0	3,6		2,5	7,2	10,8	5,4	3,60	3,60	6,84
<b>3</b>	3,6	3,6		1,4	7,2	3,6	5,4	3,60	3,60	3,99
<b>4</b>	1,8	3,6		1,2	5,4	3,6	7,2	3,60	2,30	3,59
<b>5</b>	1,8	3,6	3,6	3,6	7,2	3,6	9,0	3,60	7,20	4,80
<b>6</b>	1,8	3,6	9,0	1,9	10,8	7,2	5,4	3,60	3,60	5,21
<b>7</b>	5,4	5,4	9,0	10,8	9,0	5,4	5,9	3,60	3,60	6,45
<b>8</b>	3,6	3,6	9,0	2,5	9,0	3,6	3,6	3,60	5,40	4,88
<b>9</b>	3,6	3,6	3,6	2,5	10,8	1,0	0,5	1,80	5,40	3,64
<b>10</b>	14,4	3,6	3,6	3,6	10,8	5,4	0,5	1,80	3,60	5,26
<b>11</b>	7,2	3,6	3,6	10,8	14,4	5,4	5,4	1,80	3,33	6,17
<b>12</b>	7,2	3,6	3,6	7,2	3,6	5,4	7,2	1,80	2,75	4,71
<b>13</b>	3,6	3,6		10,8	5,4	3,6	9,0	1,80	5,40	5,40
<b>14</b>	3,6	7,2	3,6	3,6	5,4	7,2	9,0	1,00	10,80	5,71
<b>15</b>	1,8	3,6		2,1	5,4	3,6	0,5	1,80	10,80	3,70
<b>16</b>	10,8	3,6	3,6	10,8	20,0	7,2	3,6	1,00	10,80	7,93
<b>17</b>	14,4	7,2	3,6	4,5	20,0	5,4	3,6	3,00	4,80	7,39
<b>18</b>	3,6	3,6	7,2	4,5	9,0	5,4	3,6	14,40	5,40	6,29
<b>19</b>	7,2	3,6	3,6	9,0	9,0	5,4	3,6	5,40	2,50	5,48
<b>20</b>	3,6	3,6		3,6	3,6	3,6	3,6	5,40	4,50	3,94
<b>21</b>	7,2	3,6	3,6	7,2	5,4	3,6	1,8	5,40	3,20	4,56
<b>22</b>	3,6	7,2	7,2	2,3	5,4	3,6	1,8	5,40	3,10	4,40
<b>23</b>	7,2	3,6	3,6	3,6	3,6	7,2	3,6	3,60	3,10	4,34
<b>24</b>	3,6	7,2	5,4	6,3	10,8	5,4	3,6	5,40	4,10	5,76
<b>25</b>	3,6	3,6	16,2	7,2	7,2	5,4	5,4	3,60	3,80	6,22
<b>26</b>	3,6	3,6	7,2	3,6	3,6	5,4	5,4	1,00	3,80	4,13
<b>27</b>	3,6	7,2	9,0	7,2	5,4	7,2	1,8	1,80	3,80	5,22
<b>28</b>	3,6	7,2	3,6	10,8	5,4	5,4	5,4	3,60	3,70	5,41
<b>29</b>	3,6	3,6	3,6	2,0	7,2	5,4	3,6	3,60	3,70	4,03
<b>30</b>	3,6	14,4	1,8	3,6	10,8	5,4	3,6	5,40	3,70	5,81
<b>31</b>	3,6	3,6	3,6	7,2	7,2	7,2	3,6	3,60	3,30	4,77
<b>PROM</b>	5,4	4,8	5,5	5,2	8,1	5,3	4,4	3,6	4,7	5,21
<b>MAX</b>	18,0	14,4	16,2	10,8	20,0	10,8	9,0	14,4	10,8	13,82
<b>MIN</b>	1,8	3,6	1,8	1,2	3,6	1,0	0,5	1,0	2,3	1,87

**VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s) MES: FEBRERO**

<b>DÍA</b>	<b>2008</b>	<b>2007</b>	<b>2006</b>	<b>2005</b>	<b>2004</b>	<b>2003</b>	<b>2002</b>	<b>2001</b>	<b>2000</b>	<b>PROM</b>
<b>1</b>	5,40	10,80	5,4	10,80	5,4	3,60	3,6	3,60	1,80	5,60
<b>2</b>	3,60	3,60	7,2	2,70	5,4	3,60	3,6	10,80	5,40	5,10
<b>3</b>	3,60	7,20	3,6	10,80	14,4	3,60	3,6	3,60	5,40	6,20
<b>4</b>	3,60	3,60	1,8	14,40	14,4	5,40	5,4	6,30	5,40	6,70
<b>5</b>	3,60	7,20	3,6	3,60	5,4	3,60	3,6	9,00	4,20	4,87
<b>6</b>	7,20	3,60		1,30	7,2	3,60	3,6	3,60	4,20	4,29
<b>7</b>	3,60	3,60	5,4	3,60	7,2	7,20	5,4	2,43	7,20	5,07
<b>8</b>	3,60	3,60	7,2	3,60	7,2	5,40	5,4	4,00	7,20	5,24
<b>9</b>	7,20	3,60	3,6	3,60	5,4	5,40	5,4	4,53	8,10	5,20
<b>10</b>	10,80	3,60	3,6	2,09	5,4	5,40	5,4	5,40	7,20	5,43
<b>11</b>	7,20	3,60	7,2	3,60	7,2	3,60	5,4	5,40	3,60	5,20
<b>12</b>	3,60	3,60		3,60	5,4	5,40	1,8	4,95	3,60	3,99
<b>13</b>	3,60	3,60	3,6	1,70	10,8	3,60	5,4	2,73	4,20	4,36
<b>14</b>	3,60	7,20	3,6	3,60	14,4	7,20	3,6	4,13	4,20	5,73
<b>15</b>	3,60	3,60	9,0	3,60	10,8	7,20	6,2	5,43	5,40	6,09
<b>16</b>	1,80	3,60	5,4	10,80	16,2	3,60	5,4	5,97	4,80	6,40
<b>17</b>	3,60	3,60	3,6	18,00	14,4	3,60	5,4	5,40	3,33	6,77
<b>18</b>	7,20	3,60	3,6	7,20	7,2	3,60	3,6	5,40	5,40	5,20
<b>19</b>	3,60	3,60	7,2	5,40	10,8	1,80	5,4	5,25	10,80	5,98
<b>20</b>	7,20	7,20	5,4	1,50	14,4	14,40	7,2	4,20	10,80	8,03
<b>21</b>	7,20	3,60	3,6	10,80	21,6	20,00	3,6	5,87	4,10	8,93
<b>22</b>	7,20	3,60	5,4	1,77	14,4	14,40	5,4	1,80	3,20	6,35
<b>23</b>	3,60	3,60	7,2	7,20	21,6	3,60	5,4	1,80	3,60	6,40
<b>24</b>	7,20	3,60	9,0	7,20	21,6	3,60	5,4	5,40	3,60	7,40
<b>25</b>	3,46	3,60		14,40	14,4	3,60	1,0	5,40	5,90	6,47
<b>26</b>	3,60	7,20	14,4	4,30	5,4	5,40	7,2	3,18	10,80	6,83
<b>27</b>	5,40	7,20	3,6	3,60	7,2	5,40	7,2	3,00	10,80	5,93
<b>28</b>	7,20	3,60	12,6	10,80	9,0	5,40	9,0	1,53	5,90	7,23
<b>29</b>	3,60				5,4				4,84	4,61
<b>30</b>										0,00
<b>31</b>										0,00
<b>PROM</b>	5,0	4,6	5,8	6,3	10,7	5,8	5,0	4,6	5,7	5,95
<b>MAX</b>	10,8	10,8	14,4	18,0	21,6	20,0	9,0	10,8	10,8	14,02
<b>MIN</b>	1,8	3,6	1,8	1,3	5,4	1,8	1,0	1,5	1,8	2,23

**VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s) MES: MARZO**

<b>DÍA</b>	<b>2008</b>	<b>2007</b>	<b>2006</b>	<b>2005</b>	<b>2004</b>	<b>2003</b>	<b>2002</b>	<b>2001</b>	<b>2000</b>	<b>PROM</b>
<b>1</b>	5,4	3,6	12,6	21,6	5,4	5,4	5,4	9,90	3,60	8,10
<b>2</b>	5,4	3,6	9,0	14,4	5,4	5,4	7,2	28,80	1,40	8,96
<b>3</b>	14,4	3,6	3,6	10,8	5,4	5,4	7,2	14,40	1,40	7,36
<b>4</b>	7,2	14,4	3,6	10,8	5,4	3,6	10,8	3,00	5,40	7,13
<b>5</b>	7,2	7,2	3,6	10,8	10,8	10,8	5,4	3,90	3,60	7,03
<b>6</b>	3,6	21,0	7,2	10,8	10,8	3,6	3,6	4,80	5,40	7,87
<b>7</b>	7,2	10,8	3,6	18,0	10,8	3,6	3,6	3,00	5,00	7,29
<b>8</b>	7,2	7,2	7,2	25,2	14,4	5,4	5,4	8,43	5,40	9,54
<b>9</b>	7,2	7,2	14,4	14,4	10,8	5,4	5,4	3,03	6,30	8,24
<b>10</b>	3,6	7,2	7,2	7,2	9,0	3,6	5,4	5,40	3,20	5,76
<b>11</b>	3,6	3,6	3,6	10,8	5,4	5,4	7,2	9,00	5,40	6,00
<b>12</b>	3,6	14,4	3,6	18,0	5,4	7,2	3,6	3,98	5,40	7,24
<b>13</b>	14,4	3,6	7,2	5,4	10,8	3,6	5,4	1,57	1,90	5,99
<b>14</b>	3,6	10,8	7,2	3,6	7,2	14,4	3,6	6,33	5,40	6,90
<b>15</b>	3,6	14,4	7,2	18,0	5,4	14,4	3,6	4,90	8,40	8,88
<b>16</b>	3,6	3,6	7,2	28,8	3,6	14,4	3,6	3,60	4,83	8,14
<b>17</b>	2,5	3,6	3,6	18,8	5,4	10,8	3,6	14,40	3,60	7,37
<b>18</b>	5,4	3,6	3,6	18,0	7,2	10,8	1,0	5,40	5,00	6,67
<b>19</b>	10,8	3,6	10,8	10,8	9,0	10,8	1,0	5,40	5,00	7,47
<b>20</b>	7,2	7,2	7,2	2,5	14,4	10,8	7,2	5,40	3,60	7,28
<b>21</b>	2,9	7,2	3,6	1,9	10,8	5,4	10,8	5,40	5,40	5,94
<b>22</b>	1,8	3,6	7,2	3,0	9,0	3,6	7,2	9,00	1,40	5,08
<b>23</b>	1,6	7,2	7,2	3,0	7,2	3,6	5,4	5,40	2,14	4,75
<b>24</b>	7,2	3,6	7,2	3,2	5,4	3,6	5,4	3,60	5,40	4,95
<b>25</b>	7,2	7,2	3,6	3,1	7,2	5,4	1,0	3,60	5,40	4,86
<b>26</b>	3,6	7,2	3,6	3,6	7,2	3,6	7,2	3,60	5,40	5,00
<b>27</b>	3,6	10,8	7,2	3,6	10,8	3,6	5,4	3,60	3,60	5,80
<b>28</b>	3,6	3,6	7,2	7,2	5,4	5,4	5,4	18,00	3,60	6,60
<b>29</b>	3,6	7,2	3,6	14,4	5,4	5,4	3,6	14,40	5,40	7,00
<b>30</b>	3,6	3,6	7,2	7,2	5,4	5,4	3,6	5,40	5,40	5,20
<b>31</b>	3,6	3,6	7,2	7,2	9,0	5,4	7,2	1,00	6,30	5,61
<b>PROM</b>	5,5	7,1	6,4	10,8	7,9	6,6	5,2	7,0	4,5	6,77
<b>MAX</b>	14,4	21,0	14,4	28,8	14,4	14,4	10,8	28,8	8,4	17,27
<b>MIN</b>	1,6	3,6	3,6	1,9	3,6	3,6	1,0	1,0	1,4	2,37

**VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s) MES: ABRIL**

<b>DÍA</b>	<b>2008</b>	<b>2007</b>	<b>2006</b>	<b>2005</b>	<b>2004</b>	<b>2003</b>	<b>2002</b>	<b>2001</b>	<b>2000</b>	<b>PROM</b>
<b>1</b>	3,6	3,6	3,6	18,0	10,8	3,6	3,6	3,6	5,4	6,20
<b>2</b>	3,6	3,6	3,6	7,2	10,8	3,6	5,4	1,8	7,2	5,20
<b>3</b>	7,2	3,6	10,8	1,8	10,8	3,6	7,2	6,1	14,4	7,28
<b>4</b>	7,2	3,6	10,8	7,2	10,8	3,6	5,4	7,9	14,4	7,88
<b>5</b>	3,6	3,6	3,6	1,8	9,0	3,6	5,4	8,6	9,0	5,36
<b>6</b>	5,4	3,6	3,6	7,2	5,4	3,6	3,6	3,6	5,0	4,56
<b>7</b>	5,4	7,2	8,2	14,4	5,4	3,6	7,2	4,6	5,4	6,82
<b>8</b>	7,2	3,6	7,2	3,6	7,2	5,4	5,4	3,6	7,5	5,63
<b>9</b>	3,6	14,4	3,6	10,8	7,2	7,2	7,2	3,6	7,5	7,23
<b>10</b>	3,6	18,0	3,6	2,5	10,8	3,6	5,4	3,6	12,0	7,01
<b>11</b>	3,6	3,6	5,4	3,6	10,8	1,8	3,6	3,6	7,2	4,80
<b>12</b>	3,6	3,6	3,6	1,8	18,0	3,6	5,4	3,6	7,2	5,60
<b>13</b>	10,8	7,2	7,2	3,6	20,0	5,4	3,6	5,4	14,4	8,62
<b>14</b>	10,8	3,6	7,2	6,6	7,2	5,4	1,0	9,0	3,6	6,04
<b>15</b>	7,2	7,2	3,6	14,4	7,2	3,6	3,6	5,4	3,6	6,20
<b>16</b>	3,6	3,6	7,2	12,6	5,4	3,6	5,4	5,4	5,4	5,80
<b>17</b>	3,6	3,6	3,6	10,8	14,4	5,4	7,2	5,4	3,6	6,40
<b>18</b>	3,6	10,8	7,2	21,6	5,4	3,6	5,4	5,4	5,4	7,60
<b>19</b>	3,6	3,6	7,2	2,8	5,4	3,6	5,4	3,6	3,6	4,31
<b>20</b>	3,6	3,6	7,2	3,6	7,2	3,6	5,4	5,4	14,4	6,00
<b>21</b>	7,2	3,6	3,6	0,7	7,2	5,4	5,4	5,4	9,0	5,28
<b>22</b>	7,2	7,2	3,6	12,6	7,2	5,4	7,2	5,4	3,6	6,60
<b>23</b>	10,8	3,6	10,8	10,8	5,4	3,6	5,4	5,4	3,6	6,60
<b>24</b>	3,6	3,6	7,2	2,7	5,4	3,6	7,2	9,0	3,6	5,10
<b>25</b>	3,6	7,2	7,2	3,6	5,4	3,6	10,8	5,4	5,4	5,80
<b>26</b>	3,6	3,6	7,2	7,2	7,2	5,4	5,4	3,6	7,2	5,60
<b>27</b>	3,6	3,6	7,2	2,9	7,2	3,6	3,6	3,6	7,2	4,72
<b>28</b>	3,6	3,6	7,2	2,7	5,4	3,6	9,0	3,6	5,4	4,90
<b>29</b>	3,6	3,6	3,6	2,7	7,2	10,8	7,2	3,6	3,6	5,10
<b>30</b>	7,2	7,2	3,6	7,2	5,4	5,4	5,4	3,6	3,6	5,40
<b>31</b>										
<b>PROM</b>	5,3	5,4	6,0	7,0	8,4	4,4	5,6	4,9	6,9	5,99
<b>MAX</b>	10,8	18,0	10,8	21,6	20,0	10,8	10,8	9,0	14,4	14,02
<b>MIN</b>	3,6	3,6	3,6	0,7	5,4	1,8	1,0	1,8	3,6	2,79



**VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s) MES: MAYO**

<b>DÍA</b>	<b>2008</b>	<b>2007</b>	<b>2006</b>	<b>2005</b>	<b>2004</b>	<b>2003</b>	<b>2002</b>	<b>2001</b>	<b>2000</b>	<b>PROM</b>
<b>1</b>	3,6	3,6	7,2	3,6	7,2	5,4	3,6	3,6	5,4	4,80
<b>2</b>		7,2	12,6	12,6	7,2	3,6	5,4	3,6	5,4	7,20
<b>3</b>	3,6	3,6	7,2	18,0	5,4	5,4	7,2	3,6	5,4	6,60
<b>4</b>		10,8	7,2	10,8	5,4	5,4	7,2	3,6	3,6	6,75
<b>5</b>	3,6	3,6	3,6	10,8	5,4	5,4	5,4	3,6	5,4	5,20
<b>6</b>	5,4	7,2	3,6	9,0	5,4	5,4	5,4	5,4	3,6	5,60
<b>7</b>	3,6	3,6	3,6	2,7	5,4	7,2	3,6	7,2	5,4	4,70
<b>8</b>	7,2	7,2	3,6	3,6	5,4	5,4	3,6	3,6	5,4	5,00
<b>9</b>	7,2	3,6	7,2	14,4	5,4	5,4	7,2	3,6	5,9	6,66
<b>10</b>		3,6	3,6	3,6	5,4	7,2	7,2	7,2	5,4	5,40
<b>11</b>	3,6	7,2	7,2	3,6	7,2	7,2	5,4	3,6	5,0	5,56
<b>12</b>	5,4	3,6	3,6	10,8	5,4	5,4	5,4	3,6	7,0	5,58
<b>13</b>	3,6	7,2	3,6	3,6	5,4	14,4	14,0	3,6	7,0	6,93
<b>14</b>	3,6	3,6	3,6	3,6	5,0	7,2	9,0	3,6	7,0	5,13
<b>15</b>		3,6	3,6	10,8	9,0	5,4	3,6	5,4	7,2	6,08
<b>16</b>	7,2	7,2	5,4	3,6	10,8	5,4	5,4	3,6	9,0	6,40
<b>17</b>	3,6	3,6	7,2	7,2	5,4	5,4	5,4	3,6	7,2	5,40
<b>18</b>		3,6	14,4	7,2	7,2	5,4	7,2	1,8	3,2	6,25
<b>19</b>	5,4	7,2	3,6	14,4	7,2	5,4	7,2	5,4	3,2	6,56
<b>20</b>	5,4	7,2	3,6	10,8	5,4	5,4	14,4	1,8	7,2	6,80
<b>21</b>	8,1	3,6	3,6	7,2	5,4	14,4	7,2	5,4	7,2	6,90
<b>22</b>	3,6	5,4	7,2	9,0	9,0	14,4	5,4	14,4	9,0	8,60
<b>23</b>	7,2	3,6	3,6	14,4	3,6	14,4	3,6	7,2	3,6	6,80
<b>24</b>	3,6	7,2	3,6	3,6	3,6	7,2	3,6	9,0	3,6	5,00
<b>25</b>	5,4	3,6	3,6	10,8	3,6	5,4	5,4	5,4	3,6	5,20
<b>26</b>	3,6	7,2	3,6	14,4	7,2	7,2	5,4	9,0	3,6	6,80
<b>27</b>	7,2	3,6	3,6	7,2	7,2	5,4	5,4	5,4	10,8	6,20
<b>28</b>	7,2	10,8	3,6	10,8	7,2	7,2	5,4	7,2	10,8	7,80
<b>29</b>	5,4	7,2	3,6	5,4	9,0	7,2	3,6	1,8	8,1	5,70
<b>30</b>	3,6	7,2	3,6	14,4	7,2	7,2	3,6	1,8	3,6	5,80
<b>31</b>	3,6	10,8	10,8	18,0	9,0	5,4	5,4	5,4	5,5	8,21
<b>PROM</b>	5,0	5,7	5,3	9,0	6,4	7,0	6,0	4,9	5,9	6,16
<b>MAX</b>	8,1	10,8	14,4	18,0	10,8	14,4	14,4	14,4	10,8	12,90
<b>MIN</b>	3,6	3,6	3,6	2,7	3,6	3,6	3,6	1,8	3,2	3,26

**VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s) MES: JUNIO**

<b>DÍA</b>	<b>2008</b>	<b>2007</b>	<b>2006</b>	<b>2005</b>	<b>2004</b>	<b>2003</b>	<b>2002</b>	<b>2001</b>	<b>2000</b>	<b>PROM</b>
<b>1</b>	3,6	3,6	10,8	18,0	5,4	7,2	5,4	5,4	3,6	7,00
<b>2</b>	12,6	3,6	7,2	18,0	5,4	7,2	5,4	5,4	10,8	8,40
<b>3</b>	3,6	3,6	3,6	14,4	7,2	5,4	5,4	3,6	10,8	6,40
<b>4</b>	7,2	7,2	3,6	10,8	9	5,4	5,4	3,6	4,4	6,29
<b>5</b>	3,6	7,2	7,2	10,8	5,4	5,4	3,6	5,4	5,4	6,00
<b>6</b>	3,6	3,6	3,6	3,6	7,2	5,4	9	5,4	5,4	5,20
<b>7</b>	7,2	3,6	7,2	3,6	7,2	7,2	5,4	7,2	5,4	6,00
<b>8</b>	7,2	7,2	7,2	14,4	3,6	7,2	5,4	5,4	5,4	7,00
<b>9</b>	10,8	3,6	3,6	21,6	5,4	5,4	5,4	5,4	3,6	7,20
<b>10</b>	3,6	3,6	3,6	10,8	5,4	5,4	3,6	5,4	3,6	5,00
<b>11</b>	7,2	7,2	3,6	3,6	5,4	3,6	5,4	3,6	3,6	4,80
<b>12</b>	7,2	7,2	7,2	7,2	5,4	5,4	3,6	5,4	12,5	6,79
<b>13</b>	7,2	7,2	5,4	14,4	5,4	5,4	3,6	5,4	7,2	6,80
<b>14</b>	3,6	7,2	7,2	18,0	5,4	7,2	5,4	5,4	3,6	7,00
<b>15</b>	3,6	7,2	3,6	10,8	5,4	7,2	5,4	5,4	3,6	5,80
<b>16</b>	3,6	3,6	10,8	10,8	5,4	7,2	5,4	5,4	3,6	6,20
<b>17</b>	3,6	3,6	3,6	10,8	7,2	7,2	7,2	10,8	3,6	6,40
<b>18</b>	3,6	3,6	3,6	5,4	7,2	5,4	3,6	7,2	7,2	5,20
<b>19</b>	3,6	7,2	3,6	3,6	7,2	7,2	5,4	3,6	7,2	5,40
<b>20</b>	3,6	3,6	3,6	14,4	7,2	7,2	10,8	3,6	7,2	6,80
<b>21</b>	3,6	7,2	3,6	18,0	7,2	5,4	10,8	3,6	5,4	7,20
<b>22</b>	7,2	7,2	5,4	21,6	5,4	5,4	10,8	3,6	5,4	8,00
<b>23</b>	10,8	3,6	3,6	14,4	5,4	5,4	7,2	3,6	3,6	6,40
<b>24</b>	3,6	14,4	3,6	10,8	3,6	3,6	5,4	1,8	5,4	5,80
<b>25</b>	10,8	3,6	3,6	12,6	3,6	7,2	5,4	5,4	7,2	6,60
<b>26</b>	3,6	7,2	7,2	10,8	5,4	7,2	7,2	3,6	7,2	6,60
<b>27</b>	3,6	3,6	3,6	18,0	7,2	10,8	9	7,2	7,2	7,80
<b>28</b>	5,4	3,6	5,4	21,6	7,2	7,2	7,2	3,6	7,2	7,60
<b>29</b>	3,6	7,2	3,6	7,2	7,2	7,2	3,6	7,2	3,6	5,60
<b>30</b>	10,8	3,6	3,6	7,2	7,2	7,2	5,4	7,2	5,4	6,40
<b>31</b>										
<b>PROM</b>	5,8	5,5	5,1	12,2	6,1	6,4	6,1	5,2	5,8	6,46
<b>MAX</b>	12,6	14,4	10,8	21,6	9,0	10,8	10,8	10,8	12,5	12,59
<b>MIN</b>	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	1,8	3,6	3,40

**VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s) MES: JULIO**

<b>DÍA</b>	<b>2008</b>	<b>2007</b>	<b>2006</b>	<b>2005</b>	<b>2004</b>	<b>2003</b>	<b>2002</b>	<b>2001</b>	<b>2000</b>	<b>PROM</b>
<b>1</b>	3,6	7,2	7,2	14,4	7,2	3,6	5,4	7,2	7,2	7,00
<b>2</b>	7,2	3,6	3,6	7,2	5,4	5,4	5,4	7,2	7,2	5,80
<b>3</b>	3,6	3,6	5,4	10,8	3,6	5,4	3,6	5,4	5,4	5,20
<b>4</b>		8,0	5,4	3,6	3,6	5,4	5,4	5,4	3,6	5,05
<b>5</b>	3,6	7,2	7,2	7,2	7,2	5,4	3,6	7,2	5,4	6,00
<b>6</b>	3,6	7,2	3,6	7,2	5,4	5,4	3,6	7,2	3,6	5,20
<b>7</b>	3,6	6,8	7,2	14,4	7,2	5,4	3,6	5,4	9,0	6,96
<b>8</b>		2,2	3,6	3,6	5,4	7,2	7,2	3,6	10,8	5,45
<b>9</b>	7,2	1,7	7,2	2,9	20,0	9,0	3,6	3,6	10,8	7,33
<b>10</b>	7,2	7,2	10,8	3,6	20,0	7,2	3,6	3,6	8,1	7,92
<b>11</b>	10,8	10,8	3,6	7,2	7,2	7,2	9,0	5,4	7,2	7,60
<b>12</b>	7,2	3,0	3,6	3,1	5,4	7,2	5,4	5,4	14,4	6,07
<b>13</b>	3,6	7,2	3,6	14,4	5,4	7,2	5,4	3,6	9,0	6,60
<b>14</b>	3,6	2,5	3,6	14,4	5,4	7,2	1,0	3,6	5,4	5,18
<b>15</b>	3,6	7,2	3,6	10,8	7,2	5,4	1,0	3,6	5,4	5,31
<b>16</b>	5,4	7,2	7,2	14,4	5,4	9,0	1,0	3,6	5,4	6,51
<b>17</b>		3,6	3,6	14,4	5,4	9,0	9,0	5,4	5,4	6,98
<b>18</b>		3,6	3,6	3,9	5,4	9,0	3,6	7,2	5,4	5,21
<b>19</b>	3,6	3,6	3,6	2,1	5,4	3,6	5,4	3,6	5,4	4,03
<b>20</b>	7,2	7,2	3,6	2,9	5,4	5,4	3,6	3,6	5,4	4,92
<b>21</b>	12,6	7,2	3,6	3,6	5,4	3,6	10,8	3,6	5,4	6,20
<b>22</b>		7,2	3,6	3,6	5,4	5,4	5,4	3,6	5,4	4,95
<b>23</b>	7,2	7,2	3,6	3,6	5,4	5,4	9,0	3,6	5,4	5,60
<b>24</b>	10,8	3,6	3,6	16,2	5,4	10,8	7,2	1,8	5,4	7,20
<b>25</b>	3,6	2,4	3,6	3,6	7,2	7,2	3,6	1,8	6,3	4,36
<b>26</b>	3,6	2,0	3,6	2,4	7,2	5,4	3,6	3,6	3,6	3,89
<b>27</b>	3,6	1,9	7,2	9,0	7,2	5,4	5,4	5,4	3,6	5,41
<b>28</b>	7,2	3,6	3,6	1,6	3,6	5,4	5,4	3,6	3,6	4,18
<b>29</b>	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	5,4	1,0	5,4	3,6	3,71
<b>30</b>	10,8	7,2	3,6	3,6	3,6	5,4	1,0	3,6	3,6	4,71
<b>31</b>		7,2	5,4	3,7	3,6	5,4	5,4	5,4	5,4	5,19
<b>PROM</b>	5,9	5,3	4,7	7,0	6,5	6,3	4,7	4,6	6,2	5,68
<b>MAX</b>	12,6	10,8	10,8	16,2	20,0	10,8	10,8	7,2	14,4	12,62
<b>MIN</b>	3,6	1,7	3,6	1,6	3,6	3,6	1,0	1,8	3,6	2,68

## VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s) MES: AGOSTO

DÍA	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	PROM
1	3,6	7,2	3,6	16,2	3,6	5,4	5,4	7,2	5,4	6,40
2	3,6	7,2	3,6	3,6	5,4	5,4	3,6	5,4	5,4	4,80
3	7,2	7,2	3,6	10,8	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	6,20
4	3,3	3,6	3,6	9,0	5,4	3,6	3,6	5,4	5,4	4,77
5	3,6	7,2	3,6	10,8	5,4	5,4	3,6	5,4	5,4	5,60
6	7,2	7,2	3,6	4,2	3,6	5,4	1,8	5,4	5,4	4,87
7	3,6	7,2	3,6	3,3	3,6	5,4	5,4	5,4	7,2	4,96
8	3,6	7,2	3,6	7,2	5,4	3,6	5,4	5,4	7,2	5,40
9	9	7,2	5,4	3,6	5,4	5,4	5,4	5,4	7,2	6,00
10	3,6	10,8	3,6	3,6	3,6	5,4	5,4	5,4	7,2	5,40
11	3,6	3,6	3,6	3,6	9,0	3,6	5,4	5,4	5,4	4,80
12	3,6	7,2	3,6	2,5	3,6	3,6	3,6	5,4	5,4	4,28
13	3,6	10,8	3,6	1,0	5,4	5,4	1,8	5,4	5,4	4,71
14		7,2	7,2	2,7	5,4	5,4	3,6	3,6	3,6	4,84
15		3,6	3,6	3,6	5,4	5,4	1,8	3,6	7,2	4,28
16		7,2	7,2	3,6	3,6	3,6	3,6	5,4	7,2	5,18
17		14,4	3,6	5,4	5,4	5,4	3,6	5,4	5,4	6,08
18	3,6	3,6	3,6	7,2	5,4	3,6	3,6	3,6	3,6	4,20
19	3,6	3,6	3,6	10,8	5,4	3,6	3,6	3,6	3,6	4,60
20	3,6	4,2	3,6	5,4	3,6	5,4	3,6	7,2	3,6	4,47
21	3,6	10,8	3,6	3,6	5,4	3,6	7,2	7,2	7,2	5,80
22	9	14,4	3,6	10,8	3,6	5,4	7,2	7,2	7,2	7,60
23	3,6	3,6	10,8	10,8	3,6	2,0	3,6	7,2	5,4	5,62
24	3,6	7,2	3,6	10,8	3,6	2,0	5,4	5,4	7,2	5,42
25	7,2	3,6	3,6	3,6	5,4	5,4	5,4	5,4	7,2	5,20
26		3,6	3,6	7,2	5,4	7,2	5,4	5,4	5,4	5,40
27	3,6	14,4	3,6	3,6	5,4	3,6	3,6	3,6	3,6	5,00
28	3,6	7,2	7,2	3,6	5,4	5,4	5,4	3,6	5,4	5,20
29	5,4	7,2	5,4	3,6	5,4	5,4	10,8	3,6	7,2	6,00
30	5,4	10,8	7,2	7,2		5,4	5,4	1,8	7,2	6,30
31		7,2	3,6	3,6	7,2	1,5	5,4	3,6	9	5,14
<b>PROM</b>	4,6	7,3	4,4	6,0	5,0	4,6	4,6	5,1	5,9	5,29
<b>MAX</b>	9,0	14,4	10,8	16,2	9,0	7,2	10,8	7,2	9,0	10,40
<b>MIN</b>	3,3	3,6	3,6	1,0	3,6	1,5	1,8	1,8	3,6	2,64

**VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s) MES: SEPTIEMBRE**

<b>DÍA</b>	<b>2008</b>	<b>2007</b>	<b>2006</b>	<b>2005</b>	<b>2004</b>	<b>2003</b>	<b>2002</b>	<b>2001</b>	<b>2000</b>	<b>PROM</b>
<b>1</b>	7,2	3,6	7,2	3,6	5,4	5,4	3,6	3,6	7,2	5,20
<b>2</b>		3,6	3,6	3,6	5	5,4	3,6	5,4	7,2	4,68
<b>3</b>	10,8	3,6	7,2	7,6	5	5,4	3,6	3,6	3,6	5,60
<b>4</b>	5,4	5,4	7,2	7,2	6	5,4	3,6	3,6	7,2	5,67
<b>5</b>	9	7,2	5,4	9	4	5,4	3,6	7,2	7,2	6,44
<b>6</b>	3,6	1,6	7,2	7,2	3	5,4	1,8	3,6	5,4	4,31
<b>7</b>	10,8	7,2	3,6	9	7,8	5,4	5,4	5,4	5,4	6,67
<b>8</b>	7,2	3,6	3,6	3,6	6,3	3,6	5,4	3,6	5,4	4,70
<b>9</b>	3,6	7,2	3,6	7,2	5,6	5,4	5,4	3,6	3,6	5,02
<b>10</b>	7,2	7,2	3,6	3,6	6	3,6	3,6	7,2	5,4	5,27
<b>11</b>	5,4	7,2	3,6	3,6	5	3,6	3,6	3,6	3,6	4,36
<b>12</b>		3,6	7,2	7,2	6,28	5,4	3,6	1,8	5,4	5,06
<b>13</b>		3,6	7,2	3,6	7,2	7,2	5,4	5,4	5,4	5,63
<b>14</b>		7,2	14	3,6	3,8	3,6	3,6	5,4	7,2	6,05
<b>15</b>	7,2	3,6	7,2	1,8		7,2	3,6	3,6	5,4	4,95
<b>16</b>	5,4	3,6	7,2	3,6		5,4	1,8	3,6	5,4	4,50
<b>17</b>	7,2	3,6	3,6	7,2	5,4	5,4	3,6	5,4	5,4	5,20
<b>18</b>	3,6	3,6	3,6	1,8	6	7,2	3,6	1,8	5,4	4,07
<b>19</b>	3,6	7,2	7,2	12,6		5,4	5,4	1,8	3,6	5,85
<b>20</b>	3,6	7,2	7,2	10,8	8,5	5,4	5,4	3,6	3,6	6,14
<b>21</b>	7,2	7,2	3,6	14,4	4,0	5,4	5,4	9,0	5,4	6,84
<b>22</b>	3,6	3,6	3,6	3,6	6,3	3,6	7,2	5,4	3,6	4,50
<b>23</b>	5,4	7,2	3,6	7,2	4,0	3,6	7,2	3,6	3,6	5,04
<b>24</b>	10,8	3,6	3,6	1,4		3,6	5,4	3,6	3,6	4,45
<b>25</b>	10,8	3,6	7,2	3,6	5,0	3,6	3,6	5,4	14,4	6,36
<b>26</b>	3,6	3,6	7,2	3,6	6,0	5,4	1,8	5,4	10,8	5,27
<b>27</b>		3,6	3,6	14,4	8,5	5,4	5,4	3,6	7,2	6,46
<b>28</b>		21,6	3,6	3,6	2,3	1,5	5,4	4,8	10,8	6,70
<b>29</b>	7,2	7,2	5,4	10,8	5,5	3,6	7,2	5,4	7,2	6,61
<b>30</b>	3,6	3,6	3,6	9,0	6,0	1,0	5,4	5,4	7,2	4,98
<b>31</b>										
<b>PROM</b>	6,4	5,5	5,5	6,3	5,5	4,8	4,4	4,5	6,1	5,44
<b>MAX</b>	10,8	21,6	14,0	14,4	8,5	7,2	7,2	9,0	14,4	11,90
<b>MIN</b>	3,6	1,6	3,6	1,4	2,3	1,0	1,8	1,8	3,6	2,30

**VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s) MES: OCTUBRE**

<b>DÍA</b>	<b>2008</b>	<b>2007</b>	<b>2006</b>	<b>2005</b>	<b>2004</b>	<b>2003</b>	<b>2002</b>	<b>2001</b>	<b>2000</b>	<b>PROM</b>
<b>1</b>	3,6	7,2	3,6	7,2		3,6	3,6	4,2	7,2	5,03
<b>2</b>	3,6	3,6	3,6	7,2	6,5	7,2	3,6	1,8	3,6	4,52
<b>3</b>		10,8	7,2	10,7	5,6	3,6	3,6	1,8	3,6	5,86
<b>4</b>	3,6	7,2	10,8	16,2	13,1	5,4	5,4	1,0	3,6	7,37
<b>5</b>	3,6	3,6	7,2	9,0	4,0	5,4	5,4	1,8	5,4	5,04
<b>6</b>		7,2	10,8	3,6	5,0	3,6	5,4	3,6	9,0	6,03
<b>7</b>		3,6	3,6	7,2	7,0	5,4	3,6	1,0	7,2	4,83
<b>8</b>	16,2	3,6	3,6	3,6	4,0	5,4	3,6	1,0	14,4	6,16
<b>9</b>	5,4	3,6	7,2	3,6	9,0	3,6	3,6	1,0	10,8	5,31
<b>10</b>	3,6	7,2	7,2	9,0		5,4	3,6	1,0	5,4	5,30
<b>11</b>	3,6	7,2	10,8	7,2	7,0	5,4	5,4	1,0	5,4	5,89
<b>12</b>		3,6	3,6	7,2		5,4	3,6	1,0	3,6	4,00
<b>13</b>	7,2	3,6	5,4	3,6	3,0	5,4	5,4	3,6	3,6	4,53
<b>14</b>	3,6	7,3	3,6	12,6	5,4	7,2	3,6	1,8	3,6	5,41
<b>15</b>	7,2	3,6	5,4	5,4	6,0	7,2	5,4	5,4	3,6	5,47
<b>16</b>	5,4	3,6	10,8	3,6		5,4	5,4	4,5	3,6	5,29
<b>17</b>	10,8	3,6	7,2	14,4		5,4	3,6	3,6	3,6	6,53
<b>18</b>	3,6	3,6	7,2	7,2		7,2	3,6	4,5	7,2	5,51
<b>19</b>	3,6	3,6	10,8	3,6	3,0	5,4	7,2	3,6	5,4	5,13
<b>20</b>	10,8	7,2	10,8	1,6	4,0	5,4	5,4	3,6	3,6	5,82
<b>21</b>	3,6	7,2	10,2	5,4	1,8	7,2	9,0	3,6	3,6	5,73
<b>22</b>	7,2	3,6	7,2	2,8		7,2	7,2	3,6	5,4	5,53
<b>23</b>	3,6	18,0	7,2	3,6		5,4	9,0	3,6	7,2	7,20
<b>24</b>		14,2	3,6	3,6		5,4	3,6	3,6	9,0	6,14
<b>25</b>		3,6	3,6	5,4		9,0	5,4	5,4	3,6	5,14
<b>26</b>		3,6	3,6	5,4		7,2	5,4	7,2	3,6	5,14
<b>27</b>		3,6	7,2	3,6		5,4	10,8	9,0	3,6	6,17
<b>28</b>		3,6	3,6	14,4	6,0	5,4	9,0	9,0	3,6	6,83
<b>29</b>		7,2	3,6	3,6	7,0	5,4	3,6	5,4	3,6	4,93
<b>30</b>		7,2	7,2	3,6		5,4	5,4	6,0	3,6	5,49
<b>31</b>		1,5	3,6	3,6		5,4	9,0	1,8	3,6	4,07
<b>PROM</b>	5,8	5,7	6,5	6,4	5,7	5,7	5,4	3,5	5,3	5,56
<b>MAX</b>	16,2	18,0	10,8	16,2	13,1	9,0	10,8	9,0	14,4	13,06
<b>MIN</b>	3,6	1,5	3,6	1,6	1,8	3,6	3,6	1,0	3,6	2,66

**VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s) MES: NOVIEMBRE**

<b>DÍA</b>	<b>2008</b>	<b>2007</b>	<b>2006</b>	<b>2005</b>	<b>2004</b>	<b>2003</b>	<b>2002</b>	<b>2001</b>	<b>2000</b>	<b>PROM</b>
<b>1</b>	3,6	3,6	3,6	14,4		5,4	7,2	3,6	3,6	5,63
<b>2</b>	7,2	3,6	3,6	3,6		7,2	5,4	5,4	3,6	4,95
<b>3</b>	3,6	3,6	7,2	7,2	5,0	10,8	1,5	7,2	6,3	5,82
<b>4</b>		7,2	3,6	3,6	18,5	5,4	9,0	9,0	3,6	7,49
<b>5</b>	5,4	3,6	3,6	1,5	14,8	5,4	10,8	7,2	5,4	6,41
<b>6</b>	5,4	3,6	3,6	2,0	14,4	7,2	7,2	3,6	7,2	6,02
<b>7</b>		10,8	7,2	10,8	3,6	7,2	9,0	5,4	3,6	7,20
<b>8</b>		7,2	3,6	9,0	14,4	7,2	3,6	3,6	5,4	6,75
<b>9</b>		3,6	3,6	3,6	1,8	10,8	3,6	9,0	5,4	5,18
<b>10</b>	3,6	9,3	3,6	9,0	15,5	9,0	3,6	5,4	3,6	6,96
<b>11</b>	3,6	3,6	3,6	3,6	5,0	7,2	1,8	5,4	1,0	3,87
<b>12</b>	3,6	9,5	3,6	3,6	7,2	7,2	7,2	5,4	1,0	5,36
<b>13</b>	3,6	3,6	5,4	2,5		9,0	3,6	3,6	5,4	4,59
<b>14</b>	3,6	3,6	7,2	9,0		7,2	3,6	3,6	7,2	5,63
<b>15</b>	9,0	10,8	3,6	3,6	7,2	5,4	3,6	3,6	3,6	5,60
<b>16</b>	7,2	3,6	7,2	10,8	1,8	10,8	3,6	3,6	3,6	5,80
<b>17</b>	7,2	3,6	3,6	7,2	5,4	5,4	3,6	3,6	5,4	5,00
<b>18</b>	3,6	7,2	3,6	3,6	4,0	5,4	3,6	5,4	5,4	4,64
<b>19</b>	7,2	7,2	7,2	3,6	7,2	3,6	5,4	3,6	5,4	5,60
<b>20</b>	3,6	7,2	7,2	9,0	5,4	5,4	5,4	3,6	7,2	6,00
<b>21</b>	3,6	3,6	7,2	3,6	3,6	5,4	5,4	3,6	14,4	5,60
<b>22</b>	10,8	3,6	3,6	12,6	5,0	5,4	5,4	5,4	5,4	6,36
<b>23</b>	3,6	3,6	3,6	3,6		5,4	5,4	5,4	3,6	4,28
<b>24</b>	14,4	3,6	3,6	3,6		7,2	3,6	3,6	3,6	5,40
<b>25</b>	3,6	7,2	3,6	3,6		7,2	7,2	1,8	1,0	4,40
<b>26</b>	3,6	3,6	3,6	9,0		9,0	7,2	1,8	5,4	5,40
<b>27</b>		3,6	3,6	3,6		9,0	3,6	3,6	3,6	4,37
<b>28</b>	3,6	3,6	3,6	3,6		10,8	7,2	5,4	3,6	5,18
<b>29</b>		5,4	3,6	3,6	3,6	5,4	3,6	5,4	5,4	4,50
<b>30</b>		3,6	3,6	3,6		10,8	3,6	3,6	3,6	4,63
<b>31</b>										
<b>PROM</b>	5,4	5,2	4,5	5,7	7,5	7,3	5,2	4,7	4,8	5,58
<b>MAX</b>	14,4	10,8	7,2	14,4	18,5	10,8	10,8	9,0	14,4	12,26
<b>MIN</b>	3,6	3,6	3,6	1,5	1,8	3,6	1,5	1,8	1,0	2,44

**VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s) MES: DICIEMBRE**

<b>DÍA</b>	<b>2008</b>	<b>2007</b>	<b>2006</b>	<b>2005</b>	<b>2004</b>	<b>2003</b>	<b>2002</b>	<b>2001</b>	<b>2000</b>	<b>PROM</b>
<b>1</b>	7,2	10,8	3,6	5,4		5,4	3,6	3,6	3,6	5,40
<b>2</b>	3,6	3,6	3,6	3,6	6,5	5,4	3,6	3,6	3,6	4,12
<b>3</b>	9,0	14,3	3,6	3,6	3,6	5,4	1,8	3,6	3,6	5,39
<b>4</b>	3,6	14,4	7,2	3,6		2,0	1,8	3,6	9,0	5,65
<b>5</b>	3,6	7,2	3,6	3,6		3,6	1,8	5,4	14,4	5,40
<b>6</b>	3,6	3,6	7,2	3,6	3,6	5,4	3,6	5,4	5,4	4,60
<b>7</b>	3,6	3,6	5,4	3,6	1,8	5,4	3,6	3,6	1,0	3,51
<b>8</b>	3,6	3,6	7,2	3,6	5,0	5,4	3,6	3,6	1,8	4,16
<b>9</b>	1,8	3,6	7,2	12,6	1,8	5,4	3,6	3,6	3,6	4,80
<b>10</b>	3,6	7,2	3,6	9,0	19,8	5,4	3,6	1,8	1,0	6,11
<b>11</b>	1,8	3,6	3,6	1,5	7,5	7,2	5,4	3,6	1,0	3,91
<b>12</b>	1,8	3,6	3,6	2,0	7,2	7,2	3,6	5,4	3,6	4,22
<b>13</b>	3,6	3,6	3,6	3,6	9,0	5,4	3,6	3,6	1,0	4,11
<b>14</b>	3,6	5,4	3,6	9,0	3,6	9,0	3,6	3,6	1,8	4,80
<b>15</b>	1,8	3,6	3,6	1,8	7,2	7,2	3,6	3,6	3,6	4,00
<b>16</b>	3,6	3,6	3,6	16,5		14,4	7,2	3,6	9,0	7,69
<b>17</b>	1,8	3,6	3,6	7,2		9,0	1,8	3,6	9,0	4,95
<b>18</b>	1,8	3,6	7,2	3,6		9,0	1,8	5,4	9,0	5,18
<b>19</b>	3,6	3,6	3,6	1,8	7,5	10,8	1,8	5,4	7,2	5,03
<b>20</b>	1,8	3,6	3,6	3,6		7,2	1,0	1,8	1,8	3,05
<b>21</b>	3,6	3,6	3,6	3,6		5,4	3,6	3,6	3,6	3,83
<b>22</b>	3,6	3,6	3,6	3,6	1,8	9,0	7,2	3,6	3,6	4,40
<b>23</b>	1,8	7,2	7,2	3,6		7,2	10,8	3,6	3,6	5,63
<b>24</b>	3,6	3,6	3,6	3,6		9,0	9,0	5,4	3,6	5,18
<b>25</b>		3,6	7,2	3,6		3,6	3,6	3,6	3,6	4,11
<b>26</b>	3,6	3,6	3,6	3,6		5,4	3,6	3,6	1,0	3,50
<b>27</b>	3,6	3,6	3,6	1,8		5,4	7,2	7,2	9,0	5,18
<b>28</b>	3,6	3,6	3,6	3,6		3,6	7,2	1,8	5,4	4,05
<b>29</b>	7,2	3,6	3,6	3,6		10,8	5,4	3,6	3,6	5,18
<b>30</b>	3,6	3,6	3,6	3,6		9,0	3,6	3,6	3,6	4,28
<b>31</b>	7,2	3,6	3,6	3,6		10,8	5,4	3,6	5,4	5,40
<b>PROM</b>	3,7	4,9	4,5	4,5	6,1	6,9	4,2	3,9	4,5	4,81
<b>MAX</b>	9,0	14,4	7,2	16,5	19,8	14,4	10,8	7,2	14,4	12,63
<b>MIN</b>	1,8	3,6	3,6	1,5	1,8	2,0	1,0	1,8	1,0	2,01