

Universidad Nacional Autónoma de México
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN.

*CONSTRUCCIÓN DE UN MINI
AEROGENERADOR PARA
INSTALACIONES AISLADAS
DE LA CORRIENTE
ELÉCTRICA.*

*TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO
ELECTRICISTA
PRESENTA:
SÁNCHEZ FUENTES DARIO*

*DIRECTOR DE TESIS: M. EN I. DAVID FRANCO
MARTÍNEZ*

*SAN JUAN DE ARAGÓN, ESTADO DE MÉXICO
Junio 2011*

México 2011



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.

Dedicatorias

A Dios

Por dejarme terminar un parte hermosa en mi vida, y por guiarme siempre por su camino de bien, por ponerme en esta vida con hermosas personas que me apoyan en todos los momentos de mi vida.

A mis Padres

Dr. Alicia Fuentes Yaco

Dr. Juan José Sánchez Silva

Porque Gracias a su cariño, guía, comprensión y apoyo he llegado a realizar uno de mis anhelos más grandes de mi vida, fruto del inmenso apoyo, amor y confianza que en mi se depositó y con los cuales he logrado obtener mi título profesional que constituyen el legado más grande que pudiera recibir y por lo cual les viviré eternamente agradecido.

Con cariño y Amor.

Agradecimientos

A la UNAM (Fes Aragón)

Por dejarme ser parte de este orgullo azul y oro, que llevare con orgullo hasta el último halito de mi vida y por formar grandes profesionistas en todos los campos de la ciencia, para una mejoría en el país.

A los Profesores

Por todos los conocimientos que nos transmiten a todos los alumnos día a día con esmero, alegría, sin olvidar lo más hermosos que Dios les dio, que es enseñar a todos por igual, y les dedico esta frase:

Todos somos maestros y alumnos. Pregúntate: ¿qué vine a aprender aquí y qué vine a enseñar?

Louise Hay.

M. en I. Fidel Gutiérrez Flores.

Ing. J. Ascensión Sánchez Cisneros.

D.I. Javier Sombrerero Hernández

Ing. Rosendo Méndez Gallo.

C. José Luis Álvarez Navarro (D.E.P)

Agradecimientos

Al M. en I. David Franco Martínez

Por apoyarme, guiarme en mis locas ideas, por la colaboración, aportaciones y elaboración para el término de esta tesis, por su amistad, en los buenos momentos de diversión y adversos, Por los consejos llenos de sabiduría y reflexión. Gracias.

A mi Sínodo

Dr. Daniel Aldama Avalos

M. en I. David Franco Martínez

M. en C. Rodrigo Ocón Valdez

M. en I. María de Lourdes Marín Emilio

Ing. Juan Antonio Villanueva Ortega.

Por sus valiosas aportaciones y consejos a esta tesis. Muchas gracias.

A todas las personas que influyeron de forma directa e indirectamente, para llegar al término de esta tesis.

INDICE

i

<i>Índice de Imágenes</i>	ii
<i>Objetivo</i>	iii
<i>Introducción</i>	1

CAPITULO 1.- EL VIENTO **3**

<i>1.1 El Viento</i>	4
<i>1.2 ¿Por que el viento?</i>	7
<i>1.3 Velocidad de los vientos</i>	7
<i>1.4 Medida del Viento</i>	8
<i>1.5 Circulación general de los Vientos</i>	9
<i>1.6 Tipos de Vientos</i>	10
<i>1.6.1 Los vientos globales, constantes o planetarios</i>	10
<i>1.6.2 Zona de convergencia Intertropical</i>	12
<i>1.6.3 Vientos Regionales</i>	12
<i>1.6.4 Vientos Locales</i>	12
<i>1.6.5 Viento Catabático</i>	13
<i>1.6.6 Viento Anabático</i>	14
<i>1.7 Algunas consideraciones con respecto al Viento</i>	14
<i>1.8 Mapa de velocidades o mapa Meteorológico</i>	15
<i>1.8.1 Modelaje numérico para pronóstico</i>	16
<i>1.9 Mapa de Isobaras</i>	18
<i>1.10 Complicaciones del viento en la Energía Eólica</i>	20

CAPITULO 2.- ENERGÍA EÓLICA **22**

<i>2.1 Energía Eólica</i>	23
<i>2.1.1 Definición</i>	23
<i>2.2 Funcionamiento de un Aerogenerador</i>	26
<i>2.2.1 Partes de un Aerogenerador</i>	26
<i>2.3 Parque Eólico</i>	29
<i>2.4 Parques Eólicos vs Aves Migratorias</i>	30
<i>2.5 Aspectos generales de los Parque Eólicos</i>	32
<i>2.5.1 Configuración Básica</i>	32
<i>2.5.2 Configuración Mixta</i>	34
<i>2.5.3 Distribución de los Aerogeneradores</i>	35
<i>2.6 Ventajas de la Energía Eólica</i>	36

2.7 <i>Inconvenientes de la Energía Eólica</i>	38
2.7.1 <i>Aspectos Técnicos</i>	38
2.7.2 <i>Aspectos Medioambientales</i>	38

CAPÍTULO 3.- TECNOLOGÍAS DEL APROVECHAMIENTO DEL VIENTO **39**

3.1 <i>Tecnologías del aprovechamiento del Viento</i>	40
3.2 <i>Aerogeneradores de eje Vertical</i>	40
3.2.1 <i>Aerogenerador Darrieus</i>	40
3.2.2 <i>Aerogenerador con rotor Giromill</i>	43
3.2.3 <i>Aerogenerador tipo Darrieus- Savonius</i>	44
3.2.4 <i>Aerogenerador con rotor Windside</i>	44
3.3 <i>Aerogenerador Savonius</i>	45
3.4 <i>Ventajas de los Aerogeneradores Verticales</i>	48
3.5 <i>Desventajas de los Aerogeneradores Verticales</i>	48
3.6 <i>Aerogeneradores de eje Horizontal</i>	49
3.6.1 <i>Multipala</i>	49
3.6.2 <i>Tripala</i>	50
3.6.3 <i>Bipala</i>	51
3.6.4 <i>Monopala</i>	52
3.7 <i>Conforme a su orientación de las Palas</i>	53
3.7.1 <i>Orientación a Barlovento</i>	53
3.7.2 <i>Orientación a Sotavento</i>	53
3.8 <i>Ventajas de las turbinas Horizontales</i>	54
3.9 <i>Desventajas de las turbinas Horizontales</i>	55
3.10 <i>La Energía Mini Eólica o de Pequeña Potencia</i>	55
3.10.1 <i>Funcionamiento</i>	57
3.10.2 <i>Instalación</i>	57
3.11 <i>Ventajas de la energía Mini Eólica</i>	59
3.12 <i>Desventajas de la energía Mini Eólica</i>	60
3.13 <i>Instalación Híbrida</i>	60
3.14 <i>Aplicación Mini Eólica en México</i>	61
3.15 <i>Nuevas Tecnologías Eólicas</i>	62
3.15.1 <i>Generadores Eólicos Volantes</i>	62
3.15.2 <i>Aerogenerador MARS</i>	63
3.15.3 <i>Aerogenerador “Rosa de los Vientos”</i>	64
3.15.4 <i>El WindCube</i>	65
3.15.5 <i>Aerogeneradores a reacción “FloDesing”</i>	66

3.15.6 Aerogenerador Loopwing	67
3.15.7 "Castle House" Turbinas Eólicas integradas en torre de Apartamentos	68
3.15.8 GE. Nueva generación de turbinas Eólicas 25% más Eficientes	69
3.15.9 Generador "VIEG"	70
3.15.10 Aerogeneradores Quietrevolution (QR)	71
3.15.11 Iluminando carreteras con el Viento	71
3.15.12 Torres Eólicas	73
3.15.13 La EnergyBall	73
3.15.14 El Windbelt	75
3.15.15 Aerogenerador Honeywell	76
3.15.16 Turbina Eólicas AeroCam	77
3.15.17 Enercon E-126	78
3.15.18 Aerogenerador "X"	79

CAPITULO 4.- DESCRIPCION DE COMPONENTES Y CONSTRUCCION	81
4.1 Descripción de Componentes del Mini Aerogenerador	82
4.2 Las Palas del Mini Aerogenerador	82
4.3 Limite de Betz	82
4.4 El Perfil	84
4.5 Materiales de las palas del Rotor	84
4.6 Número de Palas	86
4.7 Dispositivo de Orientación	86
4.8 Torre	87
4.9 Sistemas de Almacenamiento	88
4.10 Alternador y Regulador de Tensión	88
4.10.1 Las características esenciales del Alternador:	89
4.10.2 Alternador de polos intercalados con Anillos Colectores	89
4.10.3 Ventilador de un solo Flujo	91
4.10.4 Regulador de Tensión	92
4.10.5 Reguladores en Técnica Híbrida	93
4.11 Construcción del Mini Aerogenerador	93
4.12 Rotor	93
4.13 Alternador	106
4.14 Buje (sujetador del rotor, con el alternador)	108
4.15 Base del Alternador y Dispositivo de Orientación	116

<i>4.16 Veleta</i>	<i>124</i>
<i>4.17 Costos del Mini Aerogenerador</i>	<i>133</i>
<i>Conclusiones</i>	<i>135</i>
<i>Bibliografía</i>	<i>137</i>
<i>Páginas Web</i>	<i>139</i>

CAPITULO 1.- EL VIENTO

Imagen 1.1 Velero Antiguo.

Imagen 1.2 Movimiento del Aire.

Imagen 1.3 Energía solar recibida en el Ecuador.

Imagen 1.4 Huracán acercándose a la Isla.

Imagen 1.5 Vista de un Valle.

Imagen 1.6 Veleta y Anemómetro.

Imagen 1.7 Rosas de los Vientos.

Imagen 1.8 Circulación general de los vientos en la Atmósfera.

Imagen 1.9 Circulación general de los Vientos.

Imagen 1.10 Vientos en el planeta.

Imagen 1.11 Monzones.

Imagen 1.12 Zonas de la Tierra.

Imagen 1.13 Vientos locales en Ciudades.

Imagen 1.14 Viento catabático.

Imagen 1.15 Viento anabático.

Imagen 1.16 Distribución Weibull.

Imagen 1.17 Visualización de Temperatura.

Imagen 1.18 Visualización de Humedad.

Imagen 1.19 Modelaje numérico del D.F.

Imagen 1.20 Mapa de Isobaras (líneas completas).

Imagen 1.21 Mapa de Isobaras.

Imagen 1.22 Analobaras y Catalobaras.

Imagen 1.23 Mapa de Isobaras y Temperaturas.

Imagen 1.24 Mapa de Isobaras y Temperatura en México.

CAPITULO 2.- ENERGÍA EÓLICA

Imagen 2.1 Movimiento de masas de Aire.

Imagen 2.2 Modelo de Aerogenerador.

Imagen 2.3 Molinos Holandeses.

Imagen 2.4 La Energía Eólica es Reciclable.

Imagen 2.5 Partes de un Aerogenerador.

Imagen 2.6 Partes de un Aerogenerador (vista lateral).

Imagen 2.7 Parque Eólicos en Mar y Tierra.

Imagen 2.8 Aerogeneradores en Colina.
Imagen 2.9 Parques Eólicos y Aves.
Imagen 2.10 Esquema de funcionamiento de un Parque Eólico.
Imagen 2.11 Esquema de conexión eléctrica de un Parque Eólico.
Imagen 2.12 Esquema de conexiones en Triángulo.
Imagen 2.13 Aerogeneradores en configuración Mixta.
Imagen 2.14 Central Eólica.
Imagen 2.15 Aerogeneradores en configuración Básica.

CAPITULO 3.- TECNOLOGIAS DEL APROVECHAMIENTO DEL VIENTO

Imagen 3.1 Aerogeneradores tipo Darrieus.
Imagen 3.2 Darrieus Bipala y Tripala.
Imagen 3.3 Aerogeneradores Delta.
Imagen 3.4 Aerogenerador Giromill Tripala.
Imagen 3.5 Giromill Bipala (H) y Tripala.
Imagen 3. 6 Aerogenerador Darrieus-Savonius.
Imagen 3.7 Aerogeneradores Windside.
Imagen 3.8 Traslado de las mitades del cilindros.
Imagen 3.9 Circulación del viento dentro del Aerogenerador Savonius.
Imagen 3.10 Circulación del viento y movimiento del Aerogenerador Savonius.
Imagen 3.11 Aerogeneradores Savonius Bipala y Tripala.
Imagen 3.12 Aerogeneradores tipo espiral.
Imagen 3.13 Aerogenerador Horizontal Multipalas (Americano).
Imagen 3.14 Aerogeneradores Tripala.
Imagen 3.15 Aerogeneradores Bipala.
Imagen 3. 16 Aerogeneradores Monopala.
Imagen 3.17 Orientación a Barlovento de un Aerogenerador.
Imagen 3.18 Orientación a Sotavento de un Aerogenerador.
Imagen 3.19 Mini Aerogeneradores o de Pequeña Potencia.
Imagen 3.20 Aerogenerador a Barlovento.
Imagen 3.21 Mini Aerogenerador desmontable y batería.
Imagen 3.22 Esquema de Instalación Híbrida (Aerogenerador con paneles Solares).
Imagen 3.23 Mini Aerogenerador Multipalas.
Imagen 3.24 Visión de Aerogenerador Volante.
Imagen 3.25 Visión artística del MARS.

Imagen 3.26 Visión Artística del MARS, y conexión a la red eléctrica.
Imagen 3.27 Aerogenerador denominado Rosa de los Vientos.
Imagen 3.28 Wind Cube colocados en azoteas.
Imagen 3.29 Visión artística del “FloDesing”.
Imagen 3.30 Aerogenerador Loopwing.
Imagen 3.31 Visión Artística de los Aerogeneradores en Edificio: ”Castle House”.
Imagen 3.32 Componentes de aerogenerador GE.
Imagen 3.33 Visión Artística del generador VIEG.
Imagen 3.34 Visión artística de aerogenerador VIEG.
Imagen 3.35 Aerogeneradores Quietrevolution iluminando las calles.
Imagen 3.36 Aerogeneradores iluminando carretera.
Imagen 3.37 Circulación del viento en Aerogenerador.
Imagen 3. 38 Visión artística de Torres Eólicas (EcogeeK y Greentechmedia).
Imagen 3.39 Aerogenerador Energy Ball probado en Aeropuerto.
Imagen 3.40 Aerogenerador Energi Ball.
Imagen 3.41 Visión Artística del Windbelt.
Imagen 3.42 Aerogenerador Honeywell instalado en una casa.
Imagen 3.43 Aerogenerador Honeywell.
Imagen 3.44 Visión Artística de turbina AeroCam.
Imagen 3.45 Ensamblando La Enercon E-126
Imagen 3.46 Visiones artísticas del Aerogenerador “X” en el Mar.

CAPITULO 4.- DESCRIPCION DE COMPONENTES Y CONSTRUCCION

Imagen 4.1 fuerzas en un perfil y tipos de perfiles NACA.
Imagen 4.2 Mini Aerogeneradores de dos y tres palas.
Imagen 4.3 Dispositivo de orientación.
Imagen 4.4 Torre: a) mástil tensado, b) Celosía, c) Tubular, d) Híbrida.
Imagen 4.5 Elementos principales de un Alternador.
Imagen 4.6 Diagrama de Conexión.
Imagen 4.7 Esquema básico y Piezas de un rotor de 12 polos.
Imagen 4.8 Despiece de un Alternador.
Imagen 4.9 Rotor o inductor.
Imagen 4.10 Estator o inducido.
Imagen 4.11 Despiece de un puente rectificador.

Imagen 4.12 Ventilación interior de un solo flujo para un alternador monobloc.

Imagen 4.13 Diagrama de conexión del alternador, regulador y batería.

Imagen 4.14 Regulador de técnica híbrida (EL) y esquema eléctrico.

Imagen 4.15 Medidas iniciales del MDF.

Imagen 4.16 Tablas de MDF, con prensa” y sargento.

Imagen 4.17 Pegando las tablas con ayuda de la prensa en “C” y el sargento.

Imagen 4.18 Trazado inicial en la tabla.

Imagen 4.19 Trazado secundario en la tabla.

Imagen 4.20 Trazado terciario en la tabla.

Imagen 4.21 Trazado realizado en la tabla de MDF.

Imagen 4.22 Corte con caladora de la tabla y resultado de esta.

Imagen 4.23 Rotor y pala, terminado de cortar.

Imagen 4.24 Línea base de 15° y perfil NACA 4415.

Imagen 4.25 Perfil trazado en extremo del Rotor.

Imagen 4.26 En empezando el desbastando la parte superior de la pala.

Imagen 4.27 Desbastando la parte superior de la pala.

Imagen 4.28 Desbastando hasta el contorno trazado y lijado de la pala.

Imagen 4.29 Rellenando espacios del rotor con resistol.

Imagen 4.30 Plantillas internas y externas.

Imagen 4.31 Desbastando con el escochebere y colocando plantilla.

Imagen 4.32 Verificando que la superficie este plana.

Imagen 4.33 Colocando las platillas, para verificar el perfil alar.

Imagen 4.34 Realizando primera prueba de balanceo.

Imagen 4.35 Realizando segunda prueba de balanceo.

Imagen 4.36 Realizando tercera prueba de balanceo.

Imagen 4.37 Pistola de gravedad, con compresora.

Imagen 4.38 Aplicado tinta en aceite al Rotor.

Imagen 4.39 Aplicando barniz de poliuretano al Rotor.

Imagen 4.40 Desmontando el alternador.

Imagen 4.41 Limpiando el rotor con una carda.

Imagen 4.42 Limpiando plato de diodos y carcasa.

Imagen 4.43 Visualización echa en “Solid Works”, con medidas del buje.

Imagen 4.44 Refrentando la barra de aluminio.

Imagen 4.45 Cilindrando la barra de aluminio.

Imagen 4.46 Moleteada la barra de aluminio en el diámetro externo 2”.

Imagen 4.47 Tornillo, convertido en machuelo.

Imagen 4.48 Barrenado en la contra del buje.

Imagen 4.49 Barrenando el rotor en su centro.

Imagen 4.50 Ensamblando el buje, con su contra, y el rotor.

Imagen 4.51 Visualización echa en “Solid Work”, con medidas de la parte lateral izquierda del buje.

Imagen 4.52 Ensamblando el buje, contra y rotor, para marcar orificios en el rotor.

Imagen 4.53 Buje terminado, con sus respectivos tornillos y prisionero.

Imagen 4.54 Colocando los tornillos y tuercas, que sujetaran al rotor.

Imagen 4.55 Terminanado de colocar los tornillos y tuercas en el rotor.

Imagen 4.56 Base del alternador.

Imagen 4.57 Esmerilando la base del alternador.

Imagen 4.58 Soldando retazos de ángulo en la base del alternador.

Imagen 4.59 Esmerilando puntos de la base y montando el alternador.

Imagen 4.60 Terminada de barrenar la base y colocando el alternador, con sus respectivos tornillos.

Imagen 4.61 Apretando los tornillos de la base del alternador.

Imagen 4.62 Marcando donde se soldaran las abrazaderas en omega, en la partes inferior de la base.

Imagen 4.63 Horquilla con balero o tasa inferior.

Imagen 4.64 Verificando asentado y colocando el balero superior y tuercas de presión.

Imagen 4.65 Horquilla con su juego de baleros o tazas.

Imagen 4.66 Punteando base, con dispositivo de orientación.

Imagen 4.67 Soldando soportes de la base al dispositivo de orientación.

Imagen 4.68 Soldando las partes internas de la base y el dispositivo de orientación.

Imagen 4.69 Pintando la pieza y su resultado del pintado.

Imagen 4.70 tubo Conduit y cortándolo.

Imagen 4.71 Separando el espacio generado por el corte de la tronzadora.

Imagen 4.72 Visualización en “Solid Works” de las medidas del acrílico.

Imagen 4.73 Tubo Conduit y acrílico cortado (veleta).

Imagen 4.74 Montando el acrílico en el espacio generado del tubo Conduit.

Imagen 4.75 Pintando el tubo Conduit de la veleta.

Imagen 4.76 Terminado el ensamblando la veleta a la base y dispositivo de orientación.

Imagen 4.77 Alternador montado en su base y complementos.

Imagen 4.78 Lamina de acero inoxidable.

Imagen 4.79 Lamina rolada de acero inoxidable.

Imagen 4.80 Soldando la bisagra de piano a la lámina.

Imagen 4.81 Remachando la lamina a la base del mini aerogenerador.

Imagen 4.82 Base antena de TV.

Imagen 4.83 Terminado el barreno que sujeta el mini aerogenerador, al tubo.

Imagen 4.84 Terminando de colocar el rotor al alternador.

Imagen 4.85 Colocando los taquetes y la base de TV.

Imagen 4.86 Batería marca Panasonic.

Con el presente trabajo de tesis se realizo la construcción de un mini aerogenerador para instalaciones aisladas de la corriente eléctrica, el cual puede ser utilizado en provincias donde se tenga un recurso eólico favorable, para su utilización como generador eléctrico.

INTRODUCCIÓN

Energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas.

El término Eólico viene del latín *Aeolicus*, perteneciente o relativo a Eolo, dios de los vientos en la mitología griega. La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas.

La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde. Sin embargo, el principal inconveniente es su intermitencia.

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión.

Los vientos son generados a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por parte de la radiación solar, entre el 1 y 2% de la energía proveniente del sol se convierte en viento. De día, las masas de aire sobre los océanos, los mares y los lagos se mantienen frías con relación a las áreas vecinas situadas sobre las masas continentales.

Los continentes absorben una menor cantidad de luz solar, por lo tanto el aire que se encuentra sobre la tierra se expande, y se hace por lo tanto más liviana y se eleva. El aire más frío y más pesado que proviene de los mares, océanos y grandes lagos se pone en movimiento para ocupar el lugar dejado por el aire caliente.

Para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer las variaciones diurnas y nocturnas y estacionales de los vientos, la variación de la velocidad del viento con la altura sobre el suelo, la entidad de las ráfagas en espacios de tiempo breves, y valores máximos ocurridos en series históricas de datos con una duración mínima de 20 años. Todo esto visto de forma más completa en el primer capítulo de esta tesis, en la cual se dará a entender dichos parámetros.

La energía del viento es utilizada mediante el uso de máquinas eólicas (o aeromotores) capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica de rotación utilizable, ya sea para accionar directamente las máquinas operatrices, como para la producción de energía eléctrica. En este último caso, el sistema de conversión, (que comprende un generador eléctrico con sus sistemas de control y de conexión a la red) es conocido como1 aerogenerador.

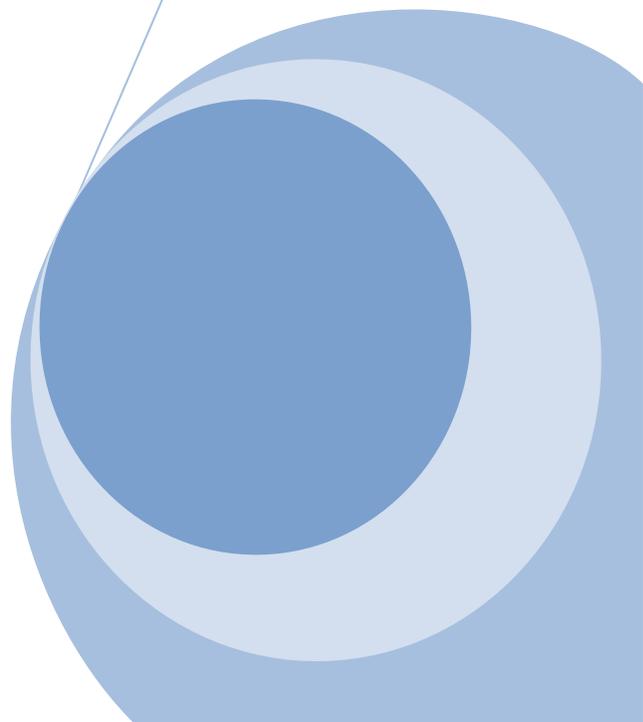
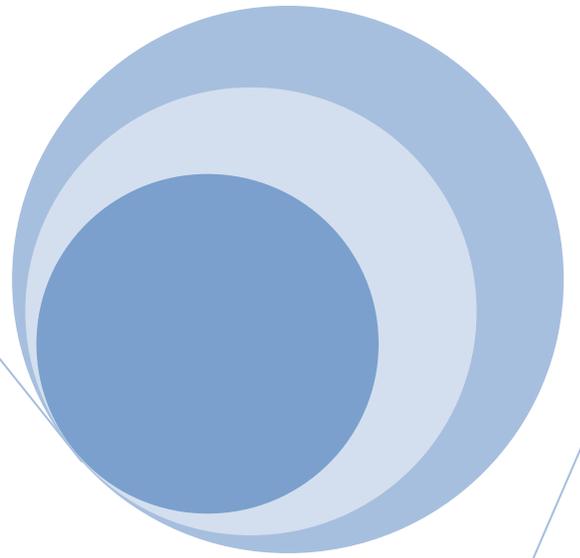
En la actualidad se utiliza, sobre todo, para mover aerogeneradores. En estos la energía eólica mueve una hélice y mediante un sistema mecánico se hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador, que produce energía eléctrica. Para que su instalación resulte rentable, suelen agruparse en concentraciones denominadas Parques Eólicos.

Un molino es una máquina que transforma el viento en energía aprovechable, que proviene de la acción de la fuerza del viento sobre unas aspas oblicuas unidas a un eje común. El eje giratorio puede conectarse a varios tipos de maquinaria para moler grano, bombear agua o generar electricidad. Cuando el eje se conecta a una carga, como una bomba, recibe el nombre de molino de viento. Si se usa para producir electricidad se le denomina generador de turbina de viento.

Esto visto en el segundo capitulado a más detalle, en el cual se hablara de las partes del aerogenerador, los parques eólicos, los tipos de aerogeneradores (HAWT, VAWT), a si como sus ventajas y desventajas de estos, y los mini aerogeneradores o de pequeña potencia en instalaciones híbridas.

En el tercer capitulado se describen las nuevas tecnologías eólicas, las cuales le resultaran interesantes, debido a la gran gama de variedad de estos que se encuentran en todas las partes del mundo. A si como diferentes proyectos futuristas de estos aerogeneradores, y en el cuarto capitulado se describen los pasos a seguir, de la construcción del mini aerogenerador (de sus partes), de la colocación de su torre y soportes, todo esto para poder lograr generar energía eléctrica, que pueda satisfacer una instalación aislada de la corriente eléctrica, en zonas donde se tenga un recurso eólico favorable.

CAPITULO 1
EL VIENTO.



1.1 El Viento

El 'viento' es el flujo de gases a gran escala. En la Tierra, el viento es el movimiento en masa del aire en la atmósfera una fuente de energía para el trabajo mecánico, para generar electricidad.

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión.

El viento ha impulsado los viajes de los veleros a través de los océanos de la Tierra. Los globos aerostáticos utilizan el viento para viajes cortos, y el vuelo con motor lo utilizan para generar sustentación y reducir el consumo de combustible.



Imagen1.1Velero Antiguo.

Fuente: <http://navegacionavela.com>

¿De dónde proviene la energía del viento?

El sol irradia 174.423.000.000.000 kilovatios/hora de energía a la tierra. Es decir, en una hora la tierra recibe 1.74×10^{17} vatios de energía.

Aproximadamente entre el 1 y el 2 por ciento la energía que proveniente del sol es convertida en viento. Ésa cantidad es de 50 a 100 veces más que la energía convertida en biomasa por todas las plantas de la tierra.

Los continentes absorben una menor cantidad de luz solar, por lo tanto el aire que se encuentra sobre la tierra se expande, y se hace por lo tanto más liviana y se eleva. El aire más frío y más pesado que proviene de los mares, océanos y grandes lagos se pone en movimiento para ocupar el lugar dejado por el aire caliente.

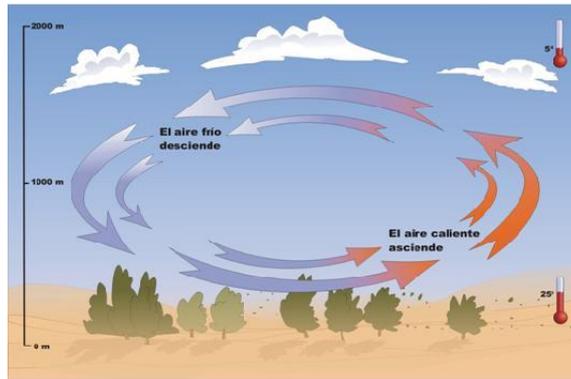


Imagen 1.2 Movimiento del Aire.

Fuente: <http://ram.meteored.com>

Las diferencias de temperatura conducen a la circulación de aire. Las regiones alrededor de ecuador, de latitud 0°, son calentadas por el sol más que el resto del planeta. El aire caliente que es más ligero que el aire frío y se eleva hasta alcanzar aproximadamente 10 kilómetros (6 millas) de altitud y se separará en dos corrientes una se dirige hacia el norte y otra al sur. Si el globo no rotara, el aire simplemente llegaría al Polo Norte y al polo sur, bajaría, y volvería al ecuador.



Imagen 1.3 Energía solar recibida en el Ecuador.

Fuente: <http://xochipilli.files.com>

Los vientos predominantes se combinan con factores locales, tales como la presencia de colinas, montañas, árboles, edificios y masas de agua, para determinar las características particulares del viento en una localización específica. Puesto que el aire posee masa, el aire en movimiento en forma de viento lleva con él energía cinética.

En meteorología se suelen denominar los vientos según su fuerza y la dirección desde la que soplan. Los aumentos repentinos de la velocidad del viento durante un tiempo corto reciben el nombre de "ráfagas". Los vientos fuertes de duración intermedia (aproximadamente un minuto) se llaman

"turbonadas". Los vientos de larga duración tienen diversos nombres según su fuerza media, como por ejemplo "brisa", "temporal", "tormenta", "huracán" o "tifón".



Imagen 1.4 Huracán acercándose a la isla.

Fuente: <http://4.bp.blogspot.com>

El viento se puede producir en diversas escalas, desde flujos tormentosos que duran decenas de minutos hasta brisas locales generadas por el distinto calentamiento de la superficie terrestre y duran varias horas, e incluso globales que son el fruto de la diferencia de absorción de energía solar entre las distintas zonas climáticas de la Tierra. Las dos causas principales de la circulación atmosférica a gran escala son el calentamiento diferencial entre el ecuador y los polos, y la rotación del planeta.

En los trópicos, la circulación de depresiones térmicas por encima del terreno y mesetas elevadas puede impulsar la circulación de monzones. En las áreas costeras, el ciclo brisa marina/brisa terrestre puede definir los vientos locales, en las zonas con terreno variable, las brisas de valle y montaña pueden dominar los vientos locales.



Imagen 1.5 Vista de un Valle.

Fuente: <http://1.bp.blogspot.com>

1.2 ¿Por qué el Viento?

Funciona. Dinamarca y España ya obtienen arriba del 20% de su electricidad mediante el poder del viento.

Crea empleos. La industria eólica podría traer miles de nuevos trabajos a México.

Es limpia. El poder del viento no produce desechos peligrosos, ni contribuye al calentamiento global.

Es abundante y confiable. México cuenta con uno de los recursos eólicos más importantes a nivel mundial en tierra, esto es en el Istmo de Tehuantepec, Estado de Oaxaca.

Es económica. Dado los actuales costos elevados del gas y del petróleo, será más económica la generación de electricidad mediante el poder del viento.

De bajo impacto. A diferencia de otras tecnologías, los parques eólicos no son instalaciones que tengan un alto impacto en su entorno.

Es segura. La tecnología para aprovechar el viento se ha vuelto más confiable y segura y permite tener más certitud sobre la energía que se generará en el futuro hasta con 7 días de anticipación.

Es popular. La energía del viento es una de las tecnologías de energía más populares y ampliamente aceptadas a nivel mundial. Las encuestas de opinión arrojan que más de ocho de cada diez de las personas encuestadas, están en el favor de energía del viento.

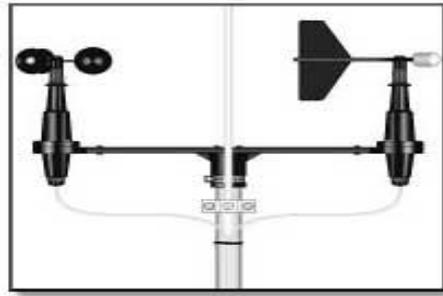
Día Mundial del Viento 2010

Este pasado 15 de Junio próximo se celebró el Día Mundial del Viento 2010: día de festividad para la energía eólica.

1.3 Velocidad de los Vientos

El instrumento más antiguo para conocer la dirección de los vientos es la veleta que, con la ayuda de la rosa de los vientos, define la procedencia de los vientos, es decir, la dirección desde donde soplan.

La medición de la velocidad y dirección del viento se efectúa con instrumentos registradores llamados anemómetros, que dispone de dos sensores, uno para medir la velocidad y otro para medir la dirección del viento. Las mediciones se registran en anemógrafos.



Veleta y Anemómetro

Imagen 1.6 Veleta y Anemómetro.

Fuente: <http://www.ellaboratorio.com>

Para que las mediciones sean comparables con las mediciones efectuadas en otros lugares del planeta, las torres con los sensores de velocidad y dirección deben obedecer a normativas estrictas dictadas por la OMM - Organización Meteorológica Mundial.

Esto significa que con solo un leve aumento en velocidad del viento puede obtenerse aumentos significativos en la producción de energía.

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

1.4 Medida del Viento

La dirección del viento es el punto cardinal desde el que se origina éste y se mide con la veleta. Las veletas tienen indicadas en la parte inferior las direcciones de los vientos con los puntos cardinales y los puntos intermedios, conformando así lo que se conoce como rosa de los vientos, que se emplean con una brújula en los mecanismos de navegación de las embarcaciones desde hace muchos siglos.

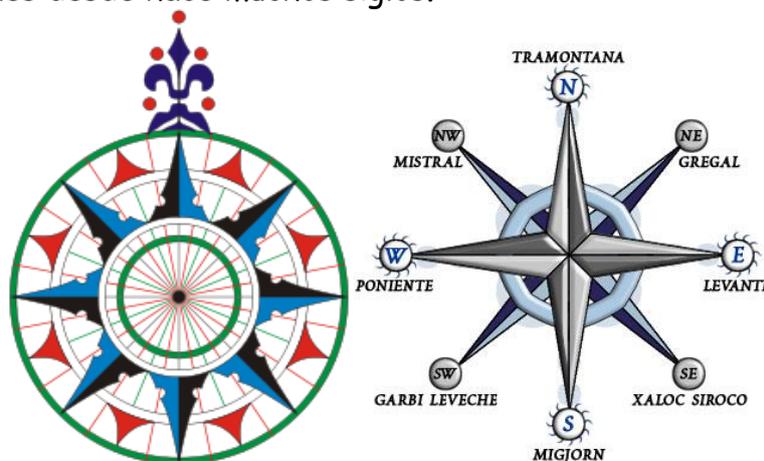


Imagen 1.7 Rosas de los Vientos.

Fuente: <http://cursodetimonel.files.wordpress.com>

1.5 Circulación general de los Vientos

El movimiento del aire en la troposfera, que es el que mayor importancia tiene para los seres humanos, siempre tiene dos componentes: la horizontal, que es la más importante (cientos y hasta miles de km) y la vertical (10 km o más) que siempre compensa, con el ascenso o el descenso del aire, el movimiento horizontal del mismo.

Y en tipos de vientos que recorren grandes distancias ocurre el mismo proceso. Así tenemos que los vientos alisios, que circulan entre los trópicos y el ecuador, recorren grandes distancias en sentido noreste-suroeste en el hemisferio norte y en sentido sureste-noroeste en el hemisferio sur.



Imagen 1.8 Circulación general de los vientos en la Atmósfera.

Fuente: <http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es.com>

Pero estos vientos cuando llegan cerca del ecuador ascienden forzosamente, no tanto por la convergencia intertropical, sino por el abultamiento ecuatorial, que es mucho más notorio por razones de densidad en los océanos que en los continentes, y aún más notorio en la atmósfera que en los océanos y al ascender producen nubes de desarrollo vertical y lluvias intensas, con lo que su velocidad de traslación disminuye rápidamente.

Al enfriarse el aire ascendente y perder la humedad que traían con la condensación y posterior precipitación tenemos un aire frío y seco. Como el aire muy frío es más pesado, tenderá a bajar hacia la superficie formando una especie de plano inclinado que va desde el ecuador hasta los trópicos, siendo su dirección la opuesta a la de los alisios. Esta corriente de aire o viento en la zona superior y media de la troposfera va bajando y desviándose hacia la derecha hasta completar el ciclo de los alisios.

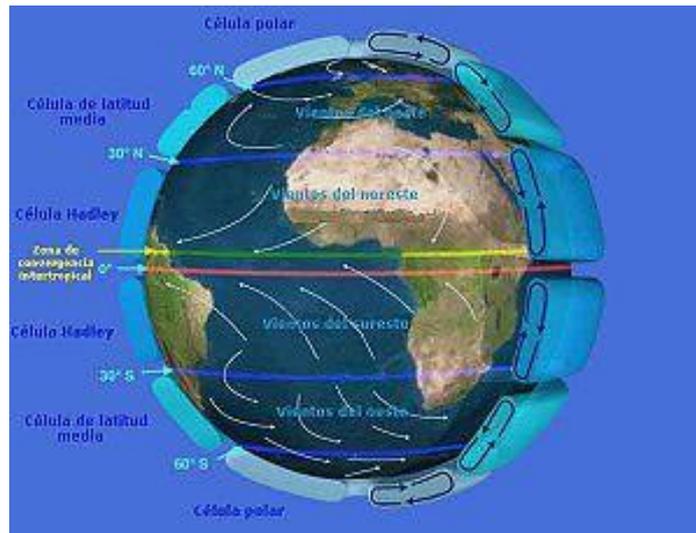


Imagen 1.9 Circulación general de los Vientos.

Fuente: <http://upload.wikimedia.org.com>

1.6 Tipos de Vientos

De acuerdo con la escala o dimensión del recorrido de los vientos tenemos tres tipos de vientos: los vientos planetarios, los vientos regionales y los locales, aunque hay algunos tipos, como los monzones, que son más difíciles de determinar y que ocupan variantes dentro de esta simple clasificación.

1.6.1 Los Vientos globales, Constantes o planetarios

Se generan principalmente como consecuencia del movimiento de rotación terrestre, que origina un desigual calentamiento de la atmósfera por la insolación y proceden de centros de acción dispuestos en franjas latitudinales de altas y bajas presiones, es decir, de anticiclones y depresiones.

Estos cinturones se disponen aproximadamente en las latitudes ecuatoriales, subtropicales y polares (círculos polares) y se encargan de transportar una cantidad de energía realmente enorme, ante la cual, la posibilidad de un calentamiento global de carácter antropogénico parecería no tener ningún valor. Estos vientos son conocidos como *alisios* en las latitudes intertropicales y vientos del oeste en las zonas templadas.

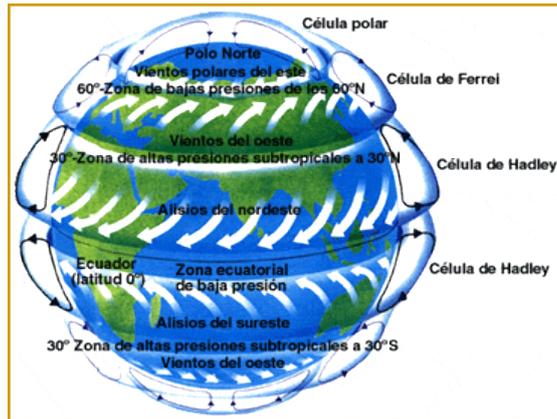


Imagen 1.10 Vientos en el planeta.

Fuente: <http://www.inamhi.gov.ec/imgs/dic/circulac.gif>

Otro tipo de viento planetario es el monzón que afecta a Asia y el océano Índico y se genera por las diferencias estacionales de temperatura entre los continentes y el mar. Los monzones como vientos estacionales ya que se producen, en sentido inverso, en el verano y el invierno. Durante el verano, el continente (en este caso, Asia) se calienta más que el Océano Índico, por lo que se produce una zona de baja presión continental, que atrae los vientos cálidos y húmedos del océano Índico, que dan origen a precipitaciones muy intensas porque la cordillera del Himalaya y otras constituye una barrera a dichos vientos y obliga al aire a ascender, produciéndose lluvias orográficas. Durante el invierno, por el contrario, el océano se encuentra más caliente que el continente, por lo tanto, los monzones se desplazan del continente hacia el Océano Índico adonde llevan cielos sin nubes y aire seco, por la escasa cantidad de humedad de las tierras continentales.



Imagen 1.11 Monzones.

Fuente: <http://1.bp.blogspot.com>

1.6.2 Zona de convergencia Intertropical

La zona de convergencia intertropical es un cinturón de bajas presiones (señala que este cinturón tiene una presión ligeramente por debajo de lo normal, por lo común entre 1009 y 1013 mb (milibares)) y está determinada por el movimiento de rotación terrestre el cual genera lo que se conoce como abultamiento ecuatorial terrestre, mucho más notorio, por la diferente densidad, en los océanos que en los continentes y aún más notorio en la atmósfera que en los océanos.

En el diagrama de la circulación global de los vientos puede verse ese mayor abultamiento de la atmósfera en la zona ecuatorial. Es por ello que el espesor de la atmósfera es mucho mayor en la zona intertropical (la troposfera alcanza casi los 20 km de altura), mientras que en las zonas polares es mucho más delgada.



Imagen 1.12 Zonas de la Tierra.

Fuente: http://chopo.pntic.mec.es/~ajimen18/zonas_climaticas.jpg

1.6.3 Vientos Regionales

Son determinados por la distribución de tierras y mares, así como por los grandes relieves continentales. Los monzones también podrían considerarse como vientos regionales, aunque su duración en el tiempo y su alternabilidad estacional los convierten más bien en vientos planetarios.

1.6.4 Vientos Locales

Como los demás tipos de vientos, los vientos locales presentan un desplazamiento del aire desde zonas de alta presión a zonas de baja presión, determinando los vientos dominantes y los vientos reinantes de un

área más o menos amplia. Aun así hay que tener en cuenta numerosos factores locales que influyen o determinan los caracteres de intensidad y periodicidad de los movimientos del aire. Estos factores, difíciles de simplificar por su multiplicidad, son los que permiten hablar de vientos locales, los cuales son en muchos lugares más importantes que los de carácter general. Estos tipos de vientos son los siguientes:

- Brisas marina y terrestre
- Brisa de valle
- Brisa de montaña



Imagen 1.13 Vientos locales en Ciudades.

Fuente: http://www.pilotlist.org/dispo/jb2/05-lower_manhattan.jpg

1.6.5 Viento Catabático

Vientos que descienden desde las alturas hasta el fondo de los valles producido por el deslizamiento a ras de suelo del aire frío y denso desde los elementos del relieve más altos. Aparecen de forma continuada en los grandes glaciares, adquiriendo enormes proporciones en la capa de hielo de Groenlandia y de la Antártida, donde soplan a velocidades continuas que superan los 200 km/h motivado por la ausencia de obstáculos que frenan su aceleración.



Imagen 1.14 Viento Catabático.

Fuente: https://www.meted.ucar.edu/sign_in_es.php

1.6.6 Viento Anabático

Vientos que ascienden desde las zonas más bajas hacia las más altas a medida que el sol calienta el relieve.



Imagen 1.15 Viento Anabático.

Fuente: <http://www.fondosgratis.com.mx>

1.7 Algunas consideraciones con respecto al Viento

El viento no siempre se mantiene constante en dirección y valor de magnitud, es más bien una variable aleatoria, algunos modelos han determinado que el viento es una variable aleatoria con distribución weibull como la que muestra la siguiente imagen:

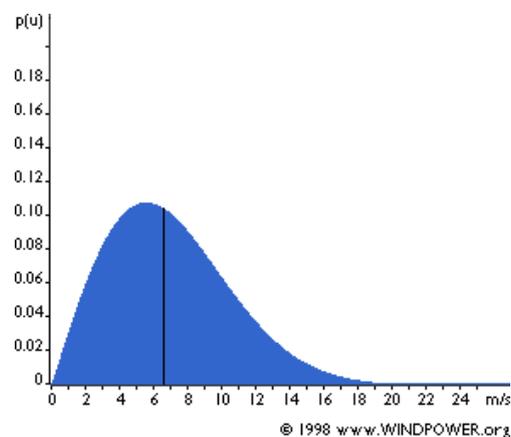


Imagen 1.16 Distribución weibull.

Fuente: <http://www.windpower.org/weibull.com.gif>

1.8 Mapa de velocidades o mapa Meteorológico

Cada hora se elaboran dos mapas, uno de Temperatura y otro de Humedad Relativa, que representan a estos dos parámetros meteorológicos en la superficie del Valle de México. Es interesante ver la historia del día, a través de estos mapas, de los datos de tales variables, porque muestran los cambios que van teniendo sus campos, dependiendo de la hora y de la región del Valle, causado por la misma ubicación de las estaciones y por el relieve del terreno, fundamentalmente.

Los mapas en sí, son muy parecidos, en cuanto a la graficación se refiere, pero se diferencian por el hecho de que los de temperatura tienen como distintivo el color rojo, para indicar los valores más altos, mientras que los de humedad se caracterizan por tener el color verde.

Para que la visualización de los mapas sea más fácil, se ha buscado que exista suficiente diferenciación de los colores de entre una franja y otra

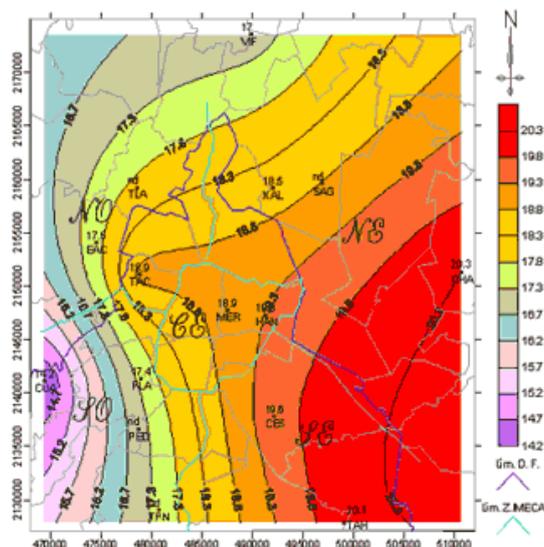


Imagen 1.17 Visualización de Temperaturas.

Fuente: <http://i2.esmas.com/2010/10/05/146712/sistema-meteorologico-nacional-300x350.jpg>

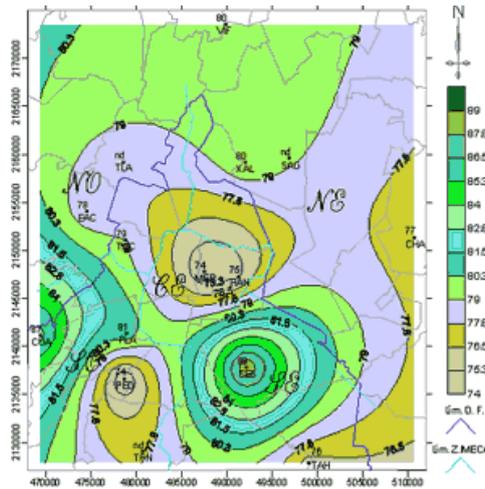


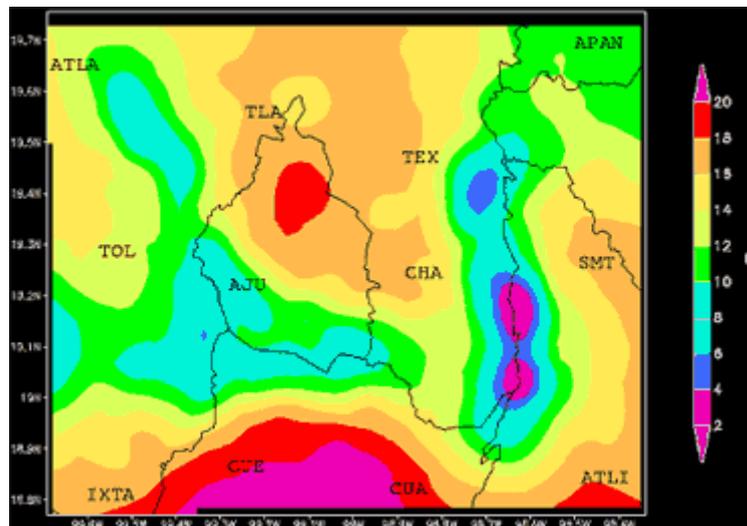
Imagen 1.18 Visualización de Humedad.

Fuente: <http://i2.esmas.com/2010/10/05/146713/sistema-meteorologico-nacional-300x350.jpg>

1.8.1 Modelaje numérico para pronóstico

Diariamente se genera un pronóstico meteorológico de hasta 48 horas, estimado con el modelo meteorológico MM5 versión 3.6, para la región central de la República Mexicana y el Distrito Federal.

Viento (graficado con líneas de corriente y con barbas), Humedad Relativa, Velocidad Vertical del Viento, Sondeo Meteorológicos y Cortes Transversales Atmosféricos que muestran el perfil vertical del viento en un sector específico de la región. Mediante modelaje numérico.



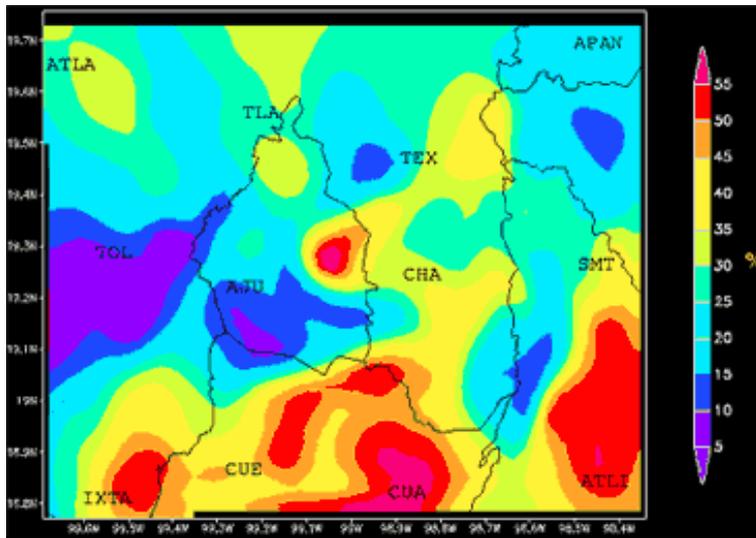


Imagen 1.19 Modelaje Numérico del D.F.

Fuente: <http://i2.esmas.com/2010/10/05/146714/sistema-meteorologico-nacional-300x350.jpg>

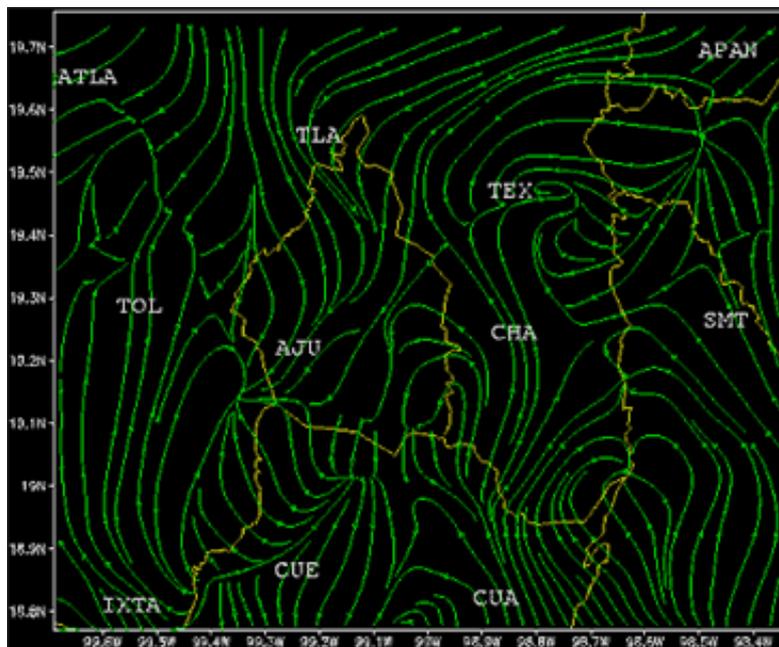


Imagen 1.20 Mapa de Isobaras (líneas completas).

Fuente: <http://i2.esmas.com/2010/10/05/146715/sistema-meteorologico-nacional-300x350.jpg>

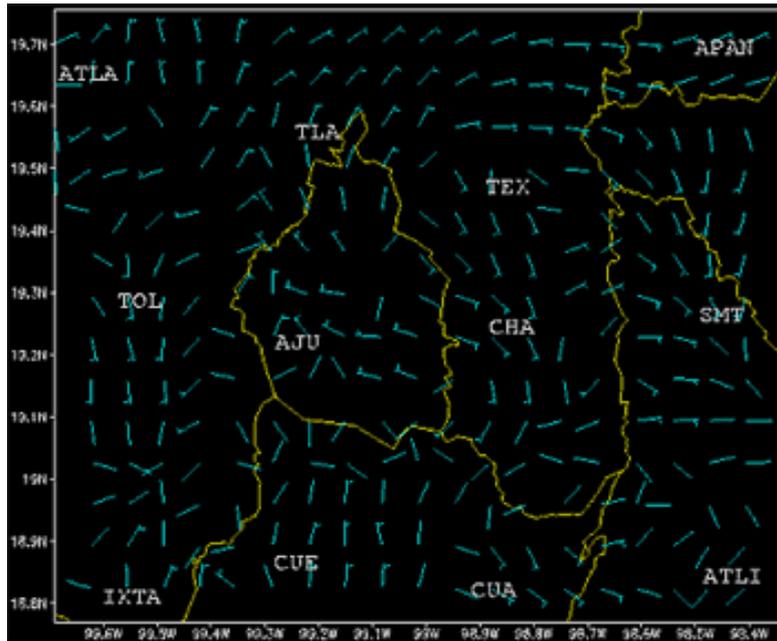


Imagen 1.21 Mapa de Isobaras.

Fuente: <http://i2.esmas.com/2010/10/05/146716/sistema-meteorologico-nacional-300x350.jpg>

1.9 Mapa de Isobaras

Una isobara es un isógrama de presión, es decir, una línea de igual o constante presión en un gráfico, trazado o elaborado en mapa. Las isobaras de un mapa meteorológico dan información acerca de la fuerza del viento y la dirección de este en una zona determinada.

En meteorología una alobara es una línea que delimita una área de cambio de presión atmosférica. Se llama analobara cuando el cambio es positivo y catalobara cuando es negativo.

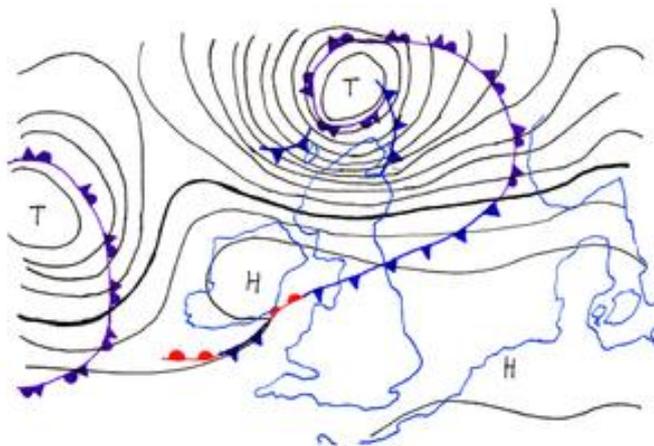


Imagen 1.22 Analobaras y Catalobaras.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Isobaren_bei_Orkan.png

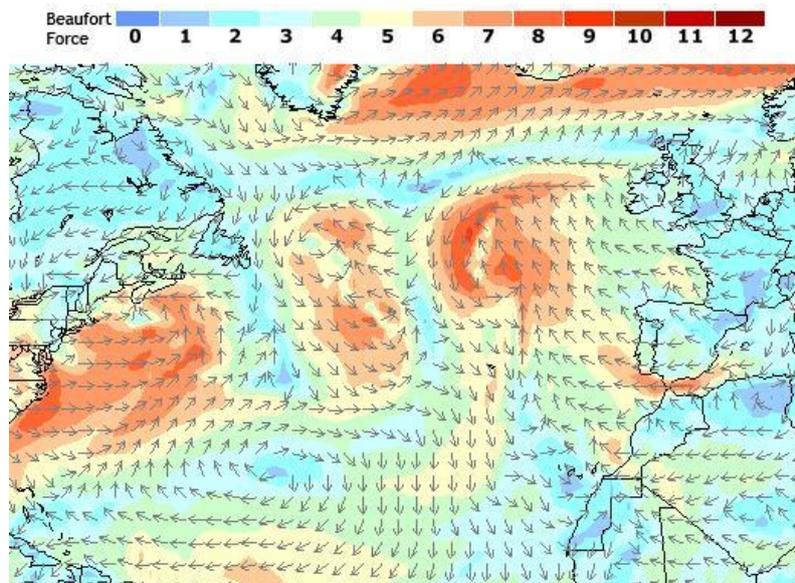


Imagen 1.23 Mapa de Isobaras y Temperaturas.

Fuente: http://4.bp.blogspot.com/-uYwSU7v_hx0/TdjmeTJwNtI/AK/1cTH4KJKubc/s1600/domingo-isobaras.bmp

Las cartas de previsión de isobaras son cartas meteorológicas de superficie (presión a nivel del mar) con un periodo de 24, 36 ó 60 horas de anticipación. Todas las que reflejen situaciones a más de 60 horas, hay que tomarlas con cierta precaución, pues la situación meteorológica que reflejan puede variar sustancialmente.

Además de indicar los centros de acción, las depresiones, anticiclones y frentes, señalan también el trazado de las isóbaras de 5 en 5 milibares. Su lectura nos permite determinar con facilidad y una relativa precisión la dirección y la fuerza del viento y en menor medida, la clase de tiempo.

En superficie el viento forma con las isóbaras un ángulo de 15° a 20' en el mar y de 20° a 25' en tierra. El viento "sale" de los anticiclones y "entra" en las borrascas.

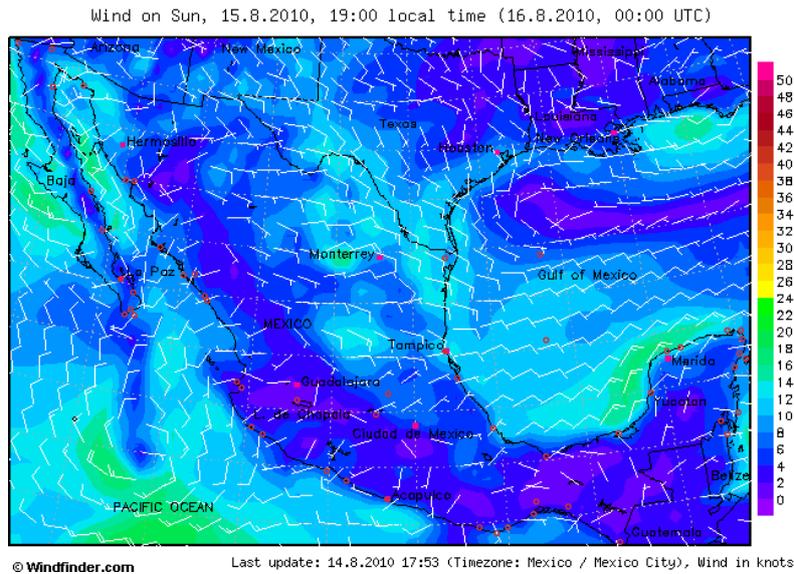


Imagen 1.24 Mapa de Isobaras y Temperatura en México.

Fuente: <http://windfinder.com/2010/10/05/146716/sistema-meteorologico-nacional-300x350.jpg>

La velocidad del viento es directamente proporcional al gradiente de presión. Cuanto más juntas están las isóbaras más pronunciada es la pendiente y por lo tanto más fuerte el viento. De una manera menos empírica, podemos decir que la velocidad del viento es proporcional a la relación entre la diferencia de presión entre dos puntos y la distancia que los separa. En este caso puede utilizarse la fórmula siguiente:

$$\text{Veloc. Viento} = \frac{\text{Presión en A} - \text{Presión en B}}{\text{distancia entre A y B}}$$

La fuerza del viento se indica en grados Beaufort y La velocidad en nudos.

1.10 Complicaciones del viento en la Energía Eólica

Las principales dificultades que presenta el aprovechamiento de esta fuente son: las variaciones en la velocidad del viento y la incapacidad de asegurar un suministro regular o constante.

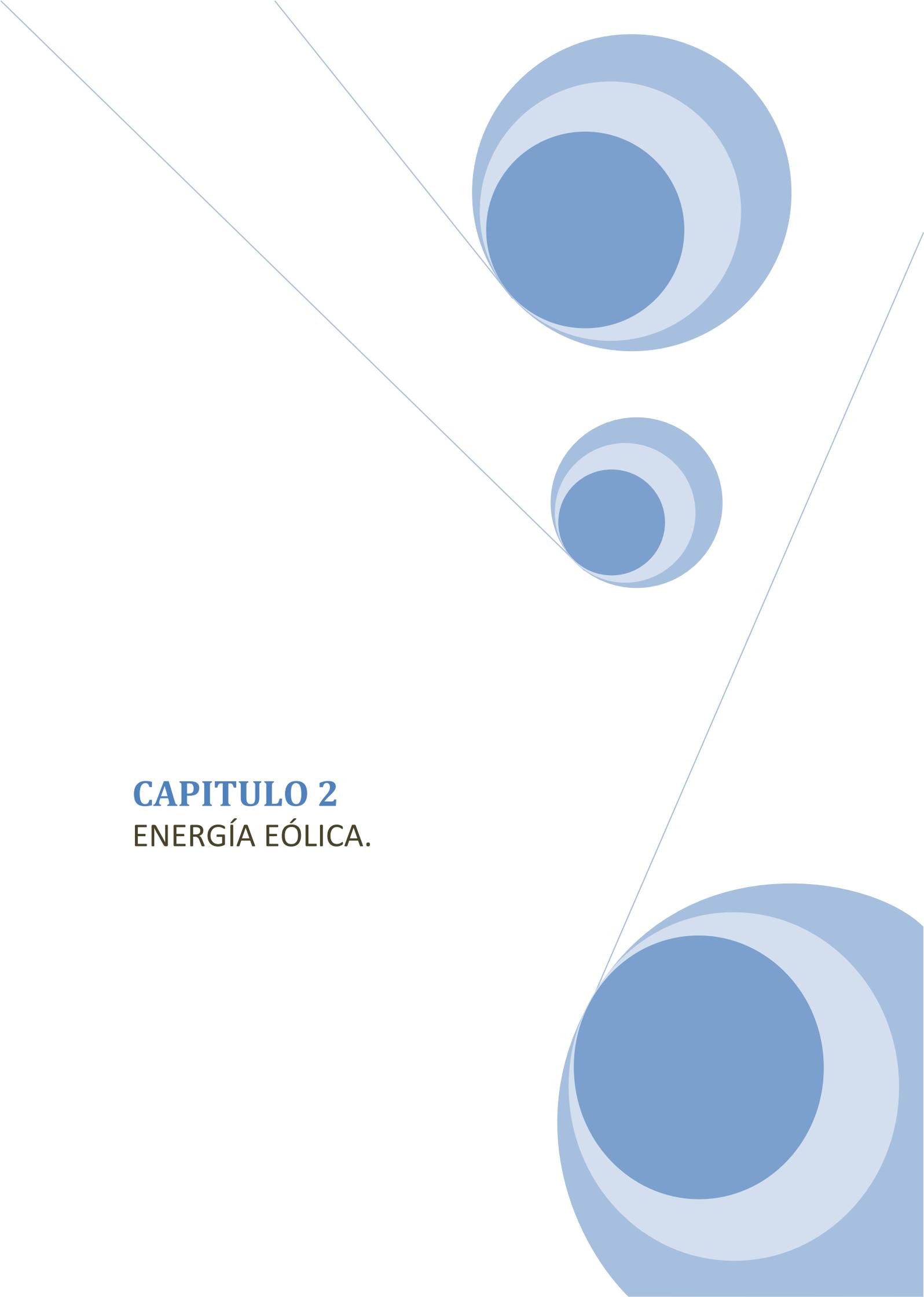
Las mejores condiciones para la utilización de energía eólica son:

- Terrenos llanos, particulares en regiones costeras. Donde existen cumbres planas o colinas solitarias sin laderas escarpadas.
- Valles planos y extensos, expuestos en la dirección del viento predominante.

En general las mejores zonas de vientos se encuentran en la costa, debido a las corrientes térmicas entre el mar y la tierra; las grandes llanuras continentales, por razones parecidas; y las zonas montañosas, donde se producen efectos de aceleración local.

El uso de energía eólica en México aún es joven pues existen muchas zonas por explorar en búsqueda de un terreno propicio para la apertura de plantas, sin embargo, las mediciones de pequeñas redes anemométricas, han servido para saber de la existencia de vientos aprovechables y económicamente viables en las siguientes regiones:

- Península de Baja California.
- Península de Yucatán.
- Las costas del país.
- El altiplano norte.

The image features a minimalist design with three blue circles of varying sizes, each composed of concentric layers of different shades of blue. These circles are arranged vertically, with the largest at the top, a medium one in the middle, and a large one at the bottom right. Two thin, light blue lines intersect to form a large 'V' shape that frames the circles. The background is plain white.

CAPITULO 2
ENERGÍA EÓLICA.

2.1 Energía Eólica

2.1.1 Definición:

El término *Eólico* viene del latín *Aeolicus*, perteneciente o relativo a Eolo, dios de los vientos en la mitología griega. Ya que la energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad.

- Energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas.
- La energía eólica es la energía cuyo origen proviene del movimiento de masa de aire es decir del viento.
- La energía eólica es una forma indirecta de energía solar, ya que son las diferencias de temperaturas y de presiones en la atmósfera, provocadas por la absorción de la radiación solar, las que ponen al viento en movimiento.

La energía eólica se considera una forma indirecta de energía solar. Entre el 1 y 2% de la energía proveniente del sol se convierte en viento, debido al movimiento del aire ocasionado por el desigual calentamiento de la superficie terrestre. La energía cinética del viento puede transformarse en energía útil, tanto mecánica como eléctrica.

En la tierra el movimiento de las masas de aire se deben principalmente a la diferencia de presiones existentes en distintos lugares de esta, moviéndose de alta a baja presión.



Imagen 2.1 Movimiento de masas de Aire.

Fuente: <http://www.losporque.com/wp-content/uploads.jpg>

Para la generación de energía eléctrica a partir de la energía del viento a nosotros nos interesa mucho más el origen de los vientos en zonas más específicas del planeta, estos vientos son los llamados vientos locales, entre estos están las brisas marinas que son debida a la diferencia de temperatura entre el mar y la tierra , también están los llamados vientos de montaña que se producen por el calentamiento de las montañas y esto afecta en la densidad del aire y hace que el viento suba por la ladera de la montaña o baje por esta dependiendo si es de noche o de día.

Esta energía es producida por los vientos generados en la atmósfera terrestre. Se puede transformar en energía eléctrica mediante el uso de turbinas eólicas que basan su funcionamiento en el giro de aspas movidas por los vientos.



Imagen 2.2 Modelo de Aerogenerador.

Fuente: http://www.energias-renovables.com/Tienda/ProductosTienda/Material_educativo/IMED-AERMAD.jpg

Este tipo de energía puede ser de gran utilidad en regiones aisladas, de difícil acceso, con necesidades de energía eléctrica, y cuyos vientos son apreciables en el transcurso del año.

La energía eólica, transformada en energía mecánica ha sido históricamente aprovechada, pero su uso para la generación de energía eléctrica es más reciente, existiendo aplicaciones de mayor escala desde mediados de la década de los 70 en respuesta a la crisis del petróleo y a los impactos ambientales derivados del uso de combustibles fósiles.

La energía del viento es utilizada mediante el uso de máquinas eólicas (o aeromotores) capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica de rotación utilizable, ya sea para accionar directamente las máquinas operatrices, como para la producción de energía eléctrica. En este último caso, el sistema de conversión, (que comprende un generador eléctrico con sus sistemas de control y de conexión a la red) es conocido como aerogenerador.

En estos la energía eólica mueve una hélice y mediante un sistema mecánico se hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador, que produce energía eléctrica. Para que su instalación resulte rentable, suelen agruparse en concentraciones denominadas parques eólicos

La energía eólica no es algo nuevo, es una de las energías más antiguas junto a la energía térmica la energía eólica crece de forma imparable a partir del siglo XXI

Un molino es una máquina que transforma el viento en energía aprovechable, que proviene de la acción de la fuerza del viento sobre unas aspas oblicuas unidas a un eje común. El eje giratorio puede conectarse a varios tipos de maquinaria para moler grano, bombear agua o generar electricidad.



Imagen 2.3 Molinos Holandeses.

Fuente: <http://www.absolutholanda.com/wp-content/uploads/2008/12/ccc2.jpg>

La energía eólica es, en la actualidad, una energía limpia y también la menos costosa de producir, lo que explica el fuerte entusiasmo por esta tecnología.

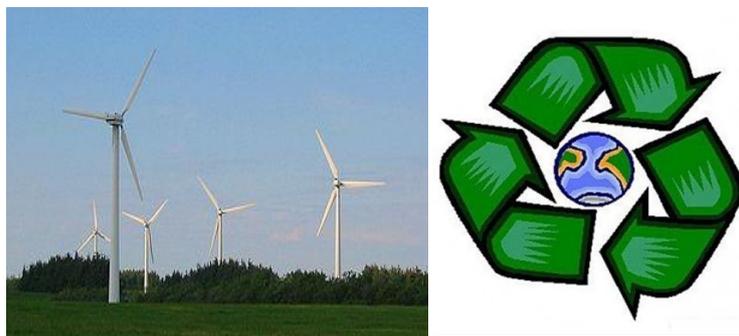


Imagen 2.4 La Energía Eólica es Reciclable.

Fuente: <http://www.energiayrenovable.es/wp-content/uploads/mayor-reciclaje-y-consumo-de-renovables-en-el-2008-294x300.jpg>

2.2 Funcionamiento de un Aerogenerador

La energía cinética del viento mueve una hélice y mediante un sistema mecánico se hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador o generador, que produce energía eléctrica, ya que transforman la energía mecánica rotacional en energía eléctrica. Y para que su instalación resulte rentable, suelen agruparse en concentraciones denominadas parques eólicos.

En síntesis la energía eólica es aprovechada por nosotros básicamente por un sistema de un rotor que gira a medida que pasa viento por sus alabes o aspas por este. Y se clasifican dependiendo el tipo de aerogeneradores, y del tipo de generador, de su potencia y de la disposición de su eje de rotación. (Gipe, 2000).

2.2.1 Partes de un Aerogenerador

El aerogenerador consta de varias partes que puede observar en el siguiente esquema general y explicado a detalle cada parte:

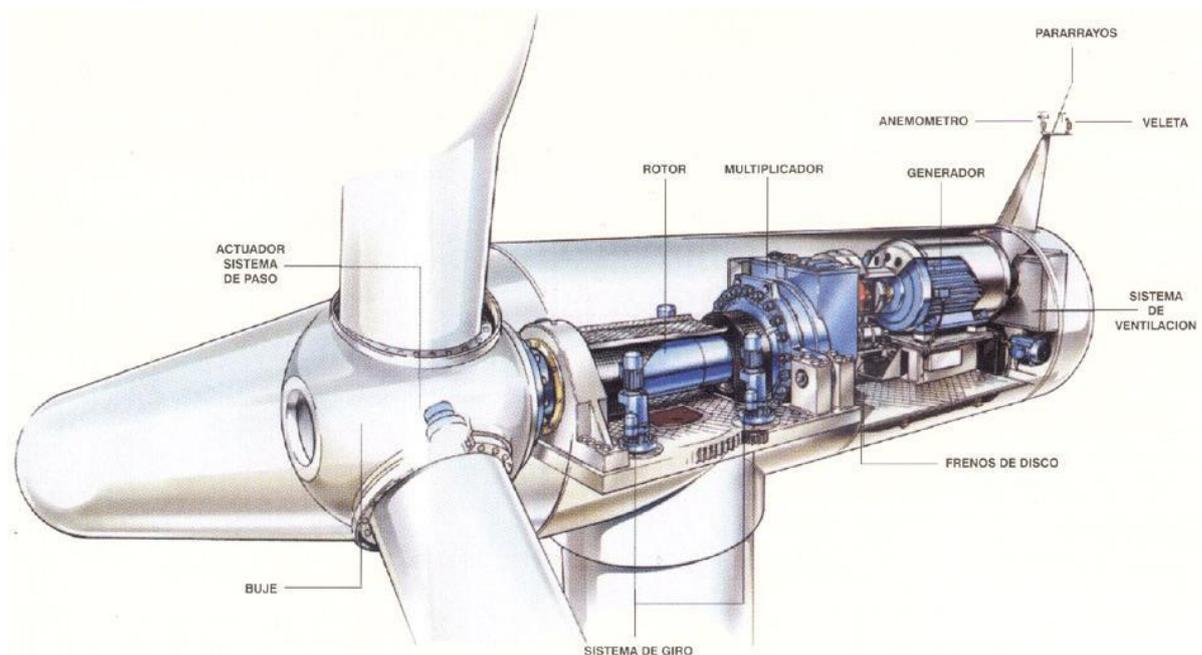


Imagen 2.5 Partes de un Aerogenerador.

Fuente: <http://www.renovables-energia.com/wp-content/uploads/2009/09/componentes-aerogenerador.jpg>

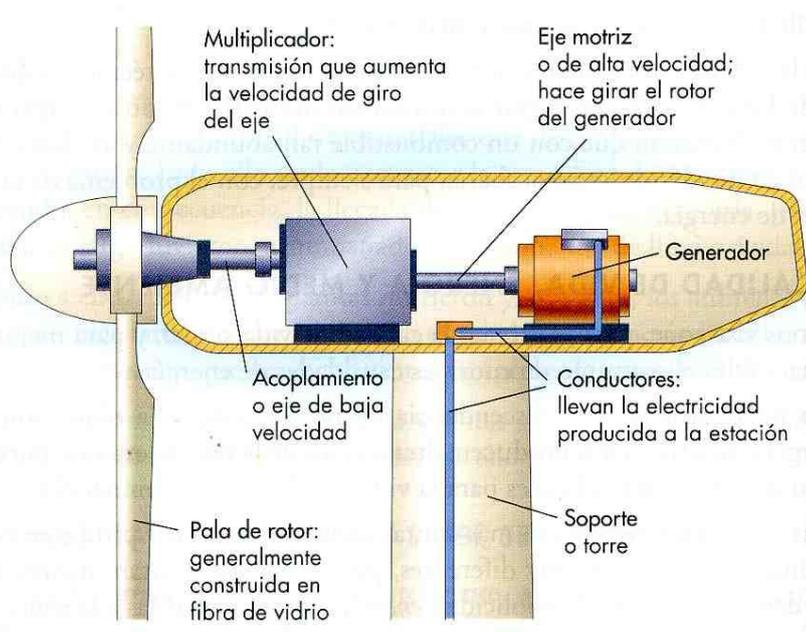


Imagen 2.6 Partes de un Aerogenerador (vista lateral).

Fuente: <http://www.renovables-energia.com/wp-content/uploads/2009/05/esquema-aerogenerador.jpg>

Torre: Soporta la góndola que es donde se encuentran la mayoría de componentes principales del aerogenerador. La torre permite que las palas estén a la altura más apropiada para obtener el máximo rendimiento posible.

Fijada al suelo por los cimientos, proporciona la altura suficiente para evitar turbulencias y superar obstáculos cercanos; la torre y los cimientos son los encargados de transmitir las cargas al suelo.

La Góndola: carcasa que protege las partes fundamentales del aerogenerador, donde se encuentra el generador, sistema de frenado, sistema de orientación, equipos auxiliares (hidráulico), caja de cambio, etc. y protege a estos equipos del ambiente y sirve, a su vez, de aislante acústico.

Palas del rotor: cuya misión es la de absorber la energía del viento; el rendimiento del aerogenerador depende de la geometría de las palas, longitud, anchura, perfil. Y debido a esto se produce el movimiento rotatorio debido al viento, que transmite la energía cinética del viento al buje. En su mayoría los aerogeneradores tienen tres palas.

Buje del rotor: pieza metálica de fundición que conecta las palas al eje de transmisión del aerogenerador.

Eje: Encargado de transmitir el movimiento rotatorio.

Eje de baja velocidad: En los grandes aerogeneradores el rotor gira muy lento entre 20 y 50 r.p.m.

Eje de alta velocidad: gira a gran velocidad (Aprox. a 1.500 r.p.m.) y 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.

Caja de engranajes o Multiplicadores: Encargados de cambiar la frecuencia de giro del eje a otra menor o mayor según dependa el caso para entregarle al generador una frecuencia apropiada para que este funcione. Y transforma la baja velocidad del eje en alta velocidad de rotación (Aprox. 1500 r.p.m. o más).

Generador: Es donde el movimiento mecánico del rotor se transforma en energía eléctrica, Gracias a la alta velocidad de rotación (Aprox. 1500r.p.m.) del eje se genera la electricidad.

Sistema de control: Son los componentes que controlan el correcto funcionamiento del aerogenerador (Es un ordenador que continuamente monitorea las condiciones del aerogenerador y que controla el mecanismo de orientación, como son: Anemómetro, veleta, unidad de refrigeración, sistema de control de potencia, etc.)

Controlador electrónico: que permite el control de la correcta orientación de las palas del rotor (que siempre este colocado frente al viento) y también en caso de cualquier contingencia como sobrecalentamiento del aerogenerador lo pare.

Unidad de refrigeración: Encargada de mantener al generador a una temperatura prudente (normal de 20°C-70°C).

Anemómetro y la Veleta: Cuya función están dedicadas a calcular la velocidad del viento y la dirección de este respectivamente. Están conectadas al controlador electrónico quien procesa estas señales adecuadamente.

Sistema de seguridad: destinado a frenar la máquina en caso de tempestad, si el sistema de regulación es inoperante a altas velocidades. Regulación, controla la velocidad del rotor y el par motor en el eje del rotor, evitando fluctuaciones producidas por la velocidad del viento.

Cables de tensión: Son cables que sirven de soporte para sostener la torre y que no sea derribada por el viento.

Líneas de tensión o Conductores: Son las encargadas de llevar la electricidad producida a la estación que se encuentra en tierra.

Cimientos: generalmente constituidos por hormigón en tierra, sobre el cual se atornilla la torre del aerogenerador.

2.3 Parque Eólico

Un parque eólico es una agrupación de aerogeneradores que transforman la energía eólica en energía eléctrica. Los aerogeneradores son los elementos claves de la instalación de los parques eólicos.

Los parques eólicos se pueden situar en tierra o en el mar (*offshore*), siendo los primeros los más habituales, aunque los parques *offshore* han experimentado un crecimiento importante en Europa en los últimos años.



Imagen 2.7 Parques Eólicos en Tierra y Mar.

Fuente: http://www.ecoactualidad.com/wp-content/uploads/2009/06/parque_eolico2.jpg

El número de aerogeneradores que componen un parque es muy variable, y depende fundamentalmente de la superficie disponible y de las características del viento en el emplazamiento. Antes de montar un parque eólico se estudia el viento en el emplazamiento elegido durante un tiempo que suele ser superior a un año.

Para ello se instalan veletas y anemómetros. Con los datos recogidos se traza una rosa de los vientos que indica las direcciones predominantes del viento y su velocidad.

Estos aerogeneradores suelen medir unos 40-80 metros dependiendo de la orografía del lugar, pero pueden ser incluso más altos. Este es uno de los grandes problemas que afecta a las poblaciones desde el punto de vista estético.

Para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer las variaciones diurnas y nocturnas y estacionales de los vientos, la variación de la velocidad del viento con la altura sobre el suelo, la entidad de las ráfagas en espacios de tiempo breves a si como la velocidad mínima que depende del aerogenerador que se vaya a utilizar pero que suele empezar entre los 3 m/s (10 km/h) y los 4 m/s (14,4 km/h), velocidad llamada "*cut-in speed*", y que no supere los 25 m/s (90 km/h), velocidad llamada "*cut-out speed*". (Valverde, 1987).

Los parques eólicos proporcionan diferente cantidad de energía dependiendo de las diferencias sobre diseño, situación de las turbinas y por el hecho de que los antiguos diseños de turbinas eran menos eficientes y capaces de adaptarse a los cambios de dirección y velocidad del viento.



Imagen 2.8 Aerogeneradores en Colina.

Fuente: <http://www.energiayrenovable.es/wp-content/uploads/2009/11/polemica-por-los-parques-eolicos.jpg>

2.4 Parques Eólicos vs Aves Migratorias

Los Parques Eólicos o Centrales eólicas, están produciendo un fuerte debate sobre los efectos de las poblaciones de aves. Ya que las aspas de los aerogeneradores alcanzan en sus extremos velocidades que superan los 200 kilómetros por hora. La colisión con las aspas es uno de los riesgos que

sufren tanto las aves que viven en la zona como las aves migratorias que pasan cerca de las centrales eólicas.

Con una simple elección adecuada de la colocación de las centrales eólicas se disminuirían significativamente los impactos negativos sobre la fauna. Es necesario hacer estudios del impacto ambiental y de la situación ornitológica de la zona antes de instalar una central eólica.



Imagen 2.9 Parque Eólico y Aves.

Fuente: <http://powertubeenergy.com/wp-content/uploads/2010/05/centrales-eolicas-aves.jpg>

Antes de construir un parque eólico es necesario realizar un estudio de impacto ambiental que determine los posibles efectos negativos que la instalación de aerogeneradores pueda causar en el entorno. El primer impacto en el entorno se produce en el momento de la construcción del parque eólico. Es necesaria la construcción de vías de acceso. La simple instalación de un aerogenerador supone su transporte hasta la zona escogida con el consiguiente impacto ambiental, la creación de vías de acceso y el movimiento de tierras que alteran definitivamente el entorno.

Otro impacto de los aerogeneradores es el acústico. A pesar de los constantes avances un aerogenerador produce ruido y vibraciones. Los fabricantes tienen como gran objetivo la construcción de nuevos aerogeneradores mucho más silenciosos. (COPAR, 2005).

2.5 Aspectos generales de los Parques Eólicos

2.5.1 Configuración Básica

Es un parque eólico en terrenos planos, donde cada aerogenerador se recolecta su energía mediante una línea eléctrica que típicamente opera a voltajes de distribución (menores de 25KV), ya que se utilizan transformadores para elevar el voltaje dependiendo de las capacidades de los aerogeneradores y de los transformadores, se utiliza un transformador para cada aerogenerador o para un grupo de ellos. Típicamente las líneas de recolección son subterráneas.

Usualmente los transformadores que se utilizan son trifásicos de tipo pedestal en conexión estrella delta, con neutros a tierra y enfriamiento tipo OA. Dependiendo del tamaño de la central, esta se puede interconectar a las líneas de distribución o de transmisión. En segundo caso debe existir un subestación local para elevar el voltaje al nivel de transmisión (115KV o más) y de ahí sale una línea aérea que se interconecta con el sistema eléctrico convencional.

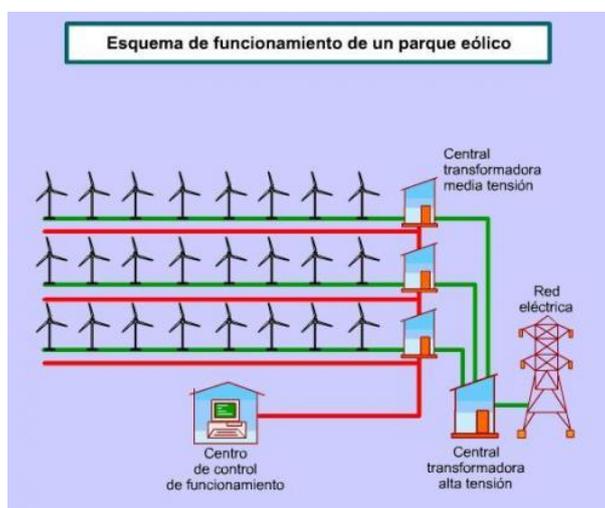


Imagen 2.10 Esquema de funcionamiento de un Parque Eólico.

Fuente: <http://www.afinidadelctrica.com.ar/html/Image/articulo187-elhierro/elhierro-esquema.JPG>

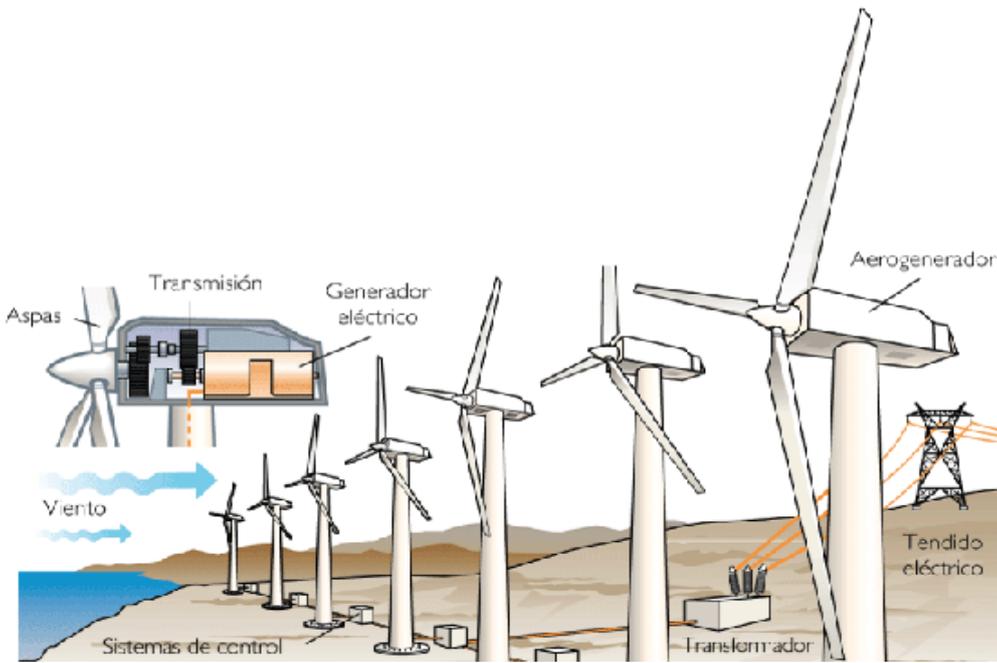
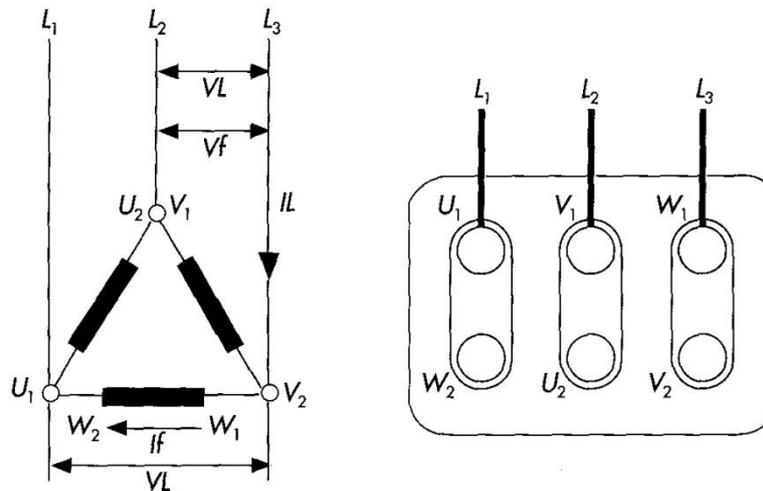


Imagen 2.11 Esquema de conexión eléctrica de un Parque Eólico.

Fuente: http://www.kalipedia.com/kalipediamedia/cienciasnaturales/media/200709/24/Fisicayquimica/20070924klpcnafyq_79.Ees.SCO.png



Esquema conexión triángulo

Placa de bornes conexión triángulo

Imagen 2.12 Esquema de conexiones en triángulo.

Fuente: <http://tecnoblogsanmartin.files.wordpress.com/2011/02/esquema-eolica.gif>

2.5.2 Configuración Mixta

Es en terrenos complejos, se ve modificada significativamente por la topografía de la zona. Mientras algunos sitios se ven favorecidos por la aceleración del viento, y en otros sucede lo contrario.

Se tienen problemas por los niveles altos de turbulencia y en rotores dañados por las cargas dinámicas resultantes sobre ellos, esto por una mala colocación en los terrenos, que dan como resultado una baja productividad eléctrica de estos aerogeneradores.



Imagen 2.13 Aerogeneradores en configuración Mixta.

Fuente: <http://www.ecologiaverde.com/wp-content/2009/05/eolica-california.jpg>

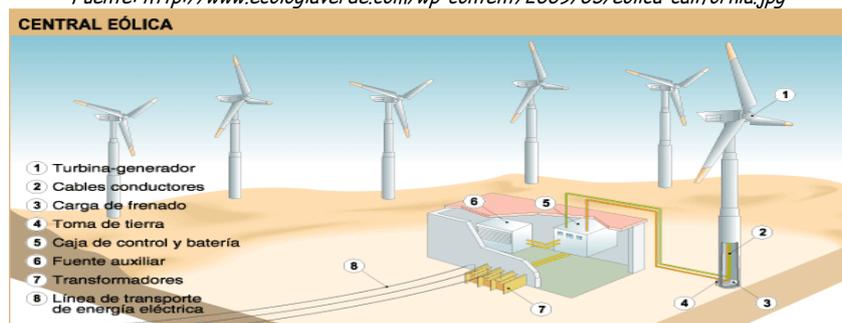


Imagen 2.14 Central Eólica.

Fuente: <http://tecnoblogsanmartin.files.wordpress.com/2011/02/esquema-eolica.gif>

2.5.3 Distribución de los Aerogeneradores

Las distancias entre los aerogeneradores (tanto en dirección del viento como en la dirección perpendicular) no son las adecuadas, los efectos de estela tienen a reducir significativamente la cantidad de energía productible. Por otra parte, si los aerogeneradores se separan más de lo conveniente los costos del de los elementos de la planta (líneas de recolección, caminos de acceso, líneas de datos) se hace mayores y también se incrementa el costo de la renta o compra del terreno. Y lo más importante es que se desaprovecha parte del recurso eólico disponible en un área determinada.

Un ejemplo teórico puede ser para 36 aerogeneradores ubicados en nodos de una malla rectangular de 6X6 turbinas espacia 10 diámetros en la dirección del viento dominante y para diferentes separaciones en la dirección perpendicular, con ello asumen una separación de 10 diámetros en la dirección del viento dominante. (Estudios indican que las distancias suele estar entre los rangos de 10 a 12 metros de distancia entre uno y otro).

Las pérdidas están relacionadas con la intensidad de turbulencia en el ambiente es mayor, lo cual se explica por el efecto de re-energización de la estela por la turbulencia que inducen los aerogeneradores. Además de acelerar la fatiga normal, un nivel alto de turbulencia incrementa la probabilidad de fallas catastróficas debido a ráfagas de viento muy intensas, para las cuales se debe conocer y considerar su periodo de retorno. En la actualidad a nivel comercial se ofrecen programas de cómputo que claman ser solución óptima. Los estudios de estela optan una distribución reticular separando los aerogeneradores hasta 5 diámetros en la línea perpendicular a la dirección del viento dominante y 10 diámetros en la dirección del viento dominante.

Hay quienes prefieren reducir las distancias entre los aerogeneradores para reducir los costos (líneas). Esto puede ser desfavorable ya que los efectos de fatiga por la turbulencia adicional, pueden manifestarse después de que haya caducado el periodo de garantía de las máquinas. (EWEA-AWEA,2003).



Imagen 2.15 Aerogeneradores en configuración Básica.

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Tauernwindpark.jpg>

2.6 Ventajas de la Energía Eólica

- La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde.
- Es una forma de energía limpia y renovable, la energía eólica es esencial si nosotros queremos detener el cambio climático. Las energías renovables son vitales para continuar con la transición energética desde formas de energía contaminante hacia formas de energía limpia que disminuyen las amenazas a nuestra salud y benefician un equilibrio para el desarrollo sustentable del medio ambiente durante los próximos años.
- Es limpia. El poder del viento no produce desechos peligrosos, ni contribuye al calentamiento global.
- Es abundante y confiable. México cuenta con uno de los recursos eólicos más importantes a nivel mundial en tierra, esto en el Istmo de Tehuantepec, Estado de Oaxaca. La energía eólica del Istmo de Tehuantepec podría suministrarnos un 7% de las necesidades de energía eléctrica a nivel nacional.
- Es económica. Dado los actuales costos elevados del gas y del petróleo, será más económica la generación de electricidad mediante el poder del viento.
- Funciona. Dinamarca y España ya obtienen arriba del 20% de su electricidad mediante el poder del viento. Crea empleos. La industria eólica podría traer miles de nuevos trabajos a México.

- De bajo impacto. A diferencia de otras tecnologías, los parques eólicos no son instalaciones que tengan un alto impacto en su entorno.
- Es segura. La tecnología para aprovechar el viento se ha vuelto más confiable y segura y permite tener más certitud sobre la energía que se generará en el futuro hasta con 7 días de anticipación.
- Es popular. La energía del viento es una de las tecnologías de energía más populares y ampliamente aceptadas a nivel mundial. Las encuestas de opinión arrojan que más de ocho de cada diez de las personas encuestadas, están en el favor de energía del viento
- Es un tipo de energía renovable ya que tiene su origen en procesos atmosféricos debidos a la energía que llega a la Tierra procedente del Sol.
- Es una energía limpia ya que no produce emisiones atmosféricas ni residuos contaminantes.
- No requiere una combustión que produzca dióxido de carbono (CO_2), por lo que no contribuye al incremento del efecto invernadero ni al cambio climático.
- Puede instalarse en espacios no aptos para otros fines, por ejemplo en zonas desérticas, próximas a la costa, en laderas áridas y muy empinadas para ser cultivables.
- Su instalación es rápida
- Su utilización combinada con otros tipos de energía, habitualmente la solar, permite la auto alimentación de viviendas, terminando así con la necesidad de conectarse a redes de suministro, pudiendo lograrse autonomías superiores.
- Posibilidad de construir parques eólicos en el mar, donde el viento es más fuerte, más constante y el impacto social es menor, aunque aumentan los costes de instalación y mantenimiento. Los parques offshore son una realidad en los países del norte de Europa, donde la generación eólica empieza a ser un factor bastante importante.
- No requiere una combustión que produzca dióxido de carbono (CO_2), por lo que no contribuye al incremento del efecto invernadero ni al cambio climático.
- Puede convivir con otros usos del suelo, por ejemplo prados para uso ganadero o cultivos bajos como trigo, maíz, patatas, remolacha, etc. (Gourierés, 1983).

2.7 Inconvenientes de la energía Eólica

2.7.1 Aspectos Técnicos

- Debido a la falta de seguridad en la existencia de viento, la energía eólica no puede ser utilizada como única fuente de energía eléctrica.
- Para evacuar la electricidad producida por cada parque eólico (que suelen estar situados además en parajes naturales apartados) es necesario construir unas líneas de alta tensión
- Además de la evidente necesidad de una velocidad mínima en el viento para poder mover las aspas. (CFE, 2006).

2.7.2 Aspectos Medioambientales

- Hay que tener en cuenta que ninguna forma de producción de energía tiene el potencial de cubrir toda la demanda y la producción energética
- Al comienzo de su instalación, los lugares seleccionados para ello coincidieron con las rutas de las aves migratorias, esto hace que entren en conflicto los aerogeneradores con aves y murciélagos.
- El impacto paisajístico es una nota importante debido a la disposición de los elementos horizontales que lo componen y la aparición de un elemento vertical como es el aerogenerador. Producen el llamado *efecto discoteca*.
- La apertura de pistas y la presencia de operarios en los parques eólicos hace que la presencia humana sea constante en lugares hasta entonces poco transitados. Ello afecta también a la fauna.
- Hay quienes consideran que la eólica no supone una alternativa a las fuentes de energía actuales, ya que no genera energía constantemente por falta o exceso de viento.
- Es la intermitencia uno de sus principales inconvenientes.
- El impacto en detrimento de la calidad del paisaje, los efectos sobre la avifauna y el ruido, suelen ser los efectos negativos que generalmente se citan como inconvenientes medioambientales de los parques eólicos.
- A las limitaciones visuales se añaden las previsibles interferencias electromagnéticas en los sistemas de comunicación. (Cucó, 1987).

The background features a white page with abstract blue geometric elements. Two thin blue lines intersect at the top left, forming a large 'V' shape that extends across the page. Three blue circles are arranged vertically along the right side of this 'V'. The top circle is the largest, the middle one is the smallest, and the bottom one is the largest. Each circle is composed of three concentric layers: a dark blue inner circle, a light blue middle ring, and a medium blue outer ring. The bottom circle is partially cut off by the right edge of the page.

CAPITULO 3
TECNOLOGÍAS DEL
APROVECHAMIENTO DEL
VIENTO.

3.1 Tecnologías del Aprovechamiento del Viento

Existen diversas formas de clasificar a los aerogeneradores, ya sea por número de palas, posición del eje, potencia producida, etc. Por lo cual en este capítulo nos basaremos por el tipo de eje y posteriormente por el número de palas.

Los aerogeneradores se pueden clasificar según la posición de su eje de rotación. Existen dos tipos, los de eje vertical y los aerogeneradores de eje horizontal. Más sin embargo no se puede desentender una nueva gama de aerogeneradores que están innovando en la industria.

3.2 Aerogeneradores de Eje Vertical

La principal característica de un aerogenerador de eje vertical es que su eje de rotación está en posición perpendicular con respecto al suelo. Son aerogeneradores de fácil instalación que no necesitan de una gran torre para funcionar.

Los aerogeneradores de eje vertical tienen la ventaja de adaptarse a cualquier dirección del viento. No es necesario que dispongan de ningún mecanismo de orientación ante cambios de la dirección del viento. Son ideales en zonas de viento débil.

La máxima desventaja del aerogenerador de eje vertical es su bajo rendimiento, debido a la resistencia que las palas ofrecen al viento y a la poca altura que se encuentra el rotor.

Clasificación:

Los aerogeneradores verticales más habituales son el aerogenerador Darrieus y el aerogenerador Savonius de los cuales hablaremos a continuación:

3.2.1 Aerogenerador Darrieus

Este aerogenerador de tipo vertical debe su nombre al ingeniero francés George Darrieus que lo patentó en 1931. Normalmente se construye con dos o tres palas y no es imprescindible la construcción de una torre.

Consiste en un eje vertical asentado sobre el rotor, con dos o más finas palas en curva unidas al eje por los dos extremos, el diseño de las palas es simétrico y similar a las alas de un avión, el modelo de curva utilizado es de catenarias. Evita la necesidad de diseños complejos en las palas como los necesarios en los generadores de eje horizontal, permite mayores velocidades que las del rotor Savonius, aunque sin alcanzar las generadas por los modelos de eje horizontal, pero necesita de un sistema externo de arranque.

Requiere vientos mínimos de 4 a 5 m/s. Como las palas del rotor del aerogenerador Darrieus son verticales no es necesaria la utilización de un sistema de orientación y funciona perfectamente cuando la dirección del viento cambia rápidamente.

Al igual que los otros tipos de aerogeneradores de eje vertical su máxima ventaja es su simplicidad pero a diferencia de estos el aerogenerador Darrieus tiene un mayor rendimiento. Esto ha provocado que sea el único aerogenerador de eje vertical con cierto éxito en el mercado. (R.E Sheldahl, 1977).



Imagen 3.1 Aerogeneradores tipo Darrieus.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos82/aerogeneradores.jpg>

Tipos de Darrieus:

Darrieus Circular

- Bipala.
- Tripala. (Panemonas).



Imagen 3.2 Darrieus Bipala y Tripala.

Fuente: <http://www.opex-energy.com/eolica/aerogenerador%20darrieus.jpg>

Darrieus Delta

- Tripala.
- Multipala.



Imagen 3.3 Aerogeneradores Delta.

Fuente: <http://www.opex-energy.com/eolica/aerogenerador%20darrieus.jpg>

3.2.2 Aerogenerador con rotor Giromill

Este tipo de generadores también fueron patentados por G.J.M. Darrieus. Consisten en palas verticales unidas al eje por unos brazos horizontales, que pueden salir por los extremos del aspa e incluso desde su parte central.

Las palas verticales cambian su orientación a medida que se produce el giro del rotor para un mayor aprovechamiento de la fuerza del viento. (W.Hart, 2005).



Imagen 3.4 Aerogenerador Giromill Tripala.

Fuente: http://img.archiexpo.es/images_ae/photo-pp/aerogenerador-pequeno-de-eje-vertical-y-tres-palas.gif

Darrieus Giromill

- Bipala. (H)
- Tripala.

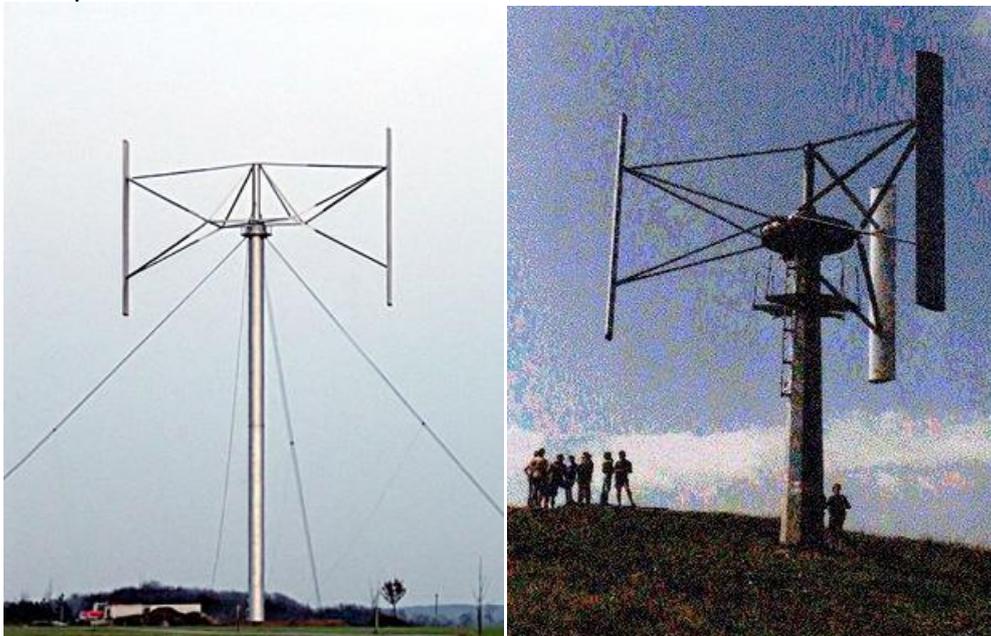


Imagen 3.5 Giromill Bipala (H) y Tripala.

Fuente: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/81/H-Darrieus-Rotor.png.jpg>

3.2.3 Aerogenerador tipo Darrieus- Savonius

Para mejorar el par de arranque se pueden acoplar otro tipo de rotores haciéndolo mixto (Savonius-Darrieus). Este tipo de aerogeneradores son susceptibles de competir rápidos, Bipala y Tripala de eje horizontal; son objeto de desarrollo y estudio (Darrieus, 1931).

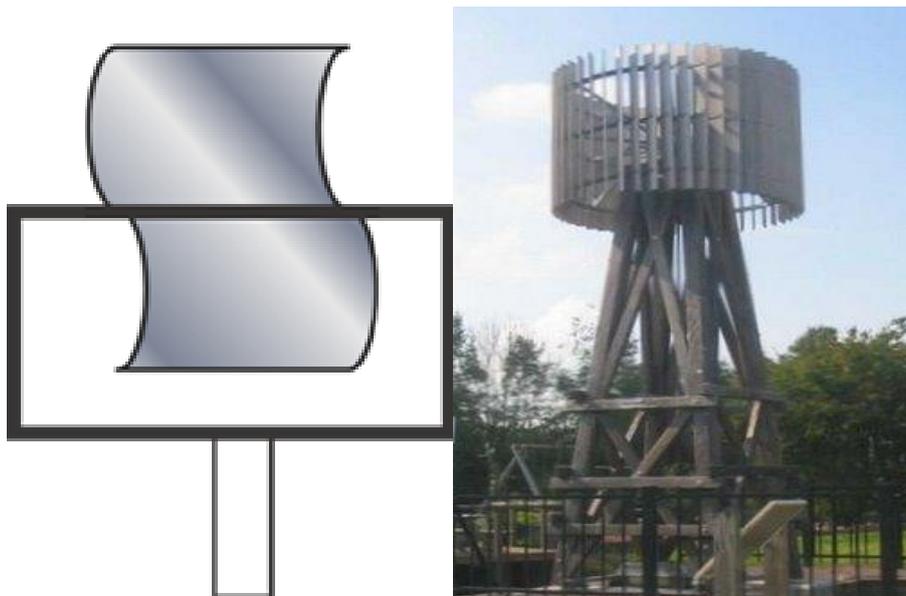


Imagen 3. 6 Aerogenerador Darrieus-Savonius.

Fuente: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f7/Taiwan.jpg>

3.2.4 Aerogenerador con rotor Windside

Es un sistema similar al rotor Savonius, en vez de la estructura cilíndrica para aprovechamiento del viento, consiste en un perfil alabeado con torsión que asciende por el eje vertical. La principal diferencia frente a otros sistemas de eje vertical es el aprovechamiento del concepto aerodinámico, que le acerca a las eficiencias de los aerogeneradores de eje horizontal.



Imagen 3.7 Aerogeneradores Windside.

Fuente: <http://www.opex-energy.com/eolica/Windside.JPG>

3.3 Aerogenerador Savonius

En 1924 *Savonius* desarrolla una Aero turbina de eje vertical muy sencilla, con elevado par de arranque, por lo tanto adecuada para el bombeo de agua. Se puede construir con técnicas y materiales sencillos y baratos, pero su mayor problema es que no puede protegerse de los huracanes.

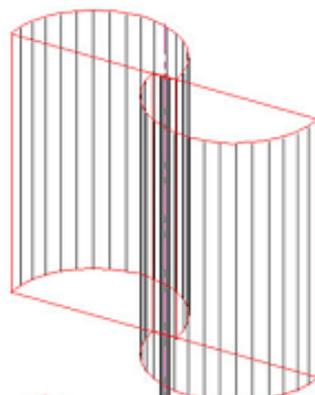


Imagen 3.8 Traslado de las mitades del cilindros.

Fuente: <http://www.opex-energy.com/eolica/aerogenerador%20savonius.JPG>

Es el modelo más simple de rotor, consiste en cilindros huecos desplazados respecto su eje, de forma que ofrecen la parte cóncava al empuje del viento, ofreciendo su parte convexa una menor resistencia al giro. Se suele mejorar su diseño dejando un espacio entre ambas caras para evitar la sobre presión en el interior de la parte cóncava. Pueden construirse superponiendo varios elementos sobre el eje de giro. (Macdonald, 2003).

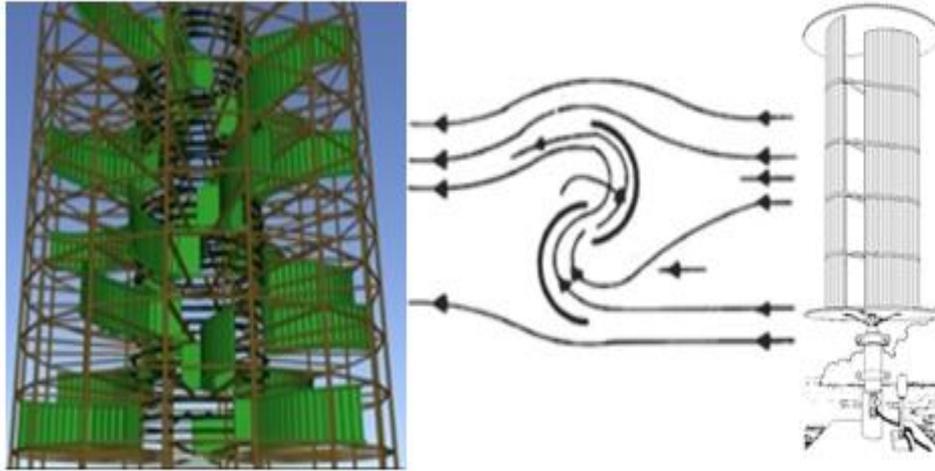


Imagen 3.9 Circulación del viento dentro del Aerogenerador Savonius.

Fuente: http://1.bp.blogspot.com/_hZzqYJazFek/BQ0/xqfJm563H58/s1600/image015.png

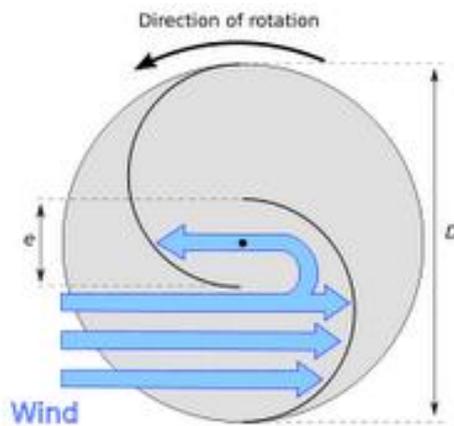


Imagen 3.10 Circulación del viento y movimiento del Aerogenerador Savonius.

Fuente: <http://sallavor.org/resources/Rotor+Savonius+-+esquema.png>

Son útiles para la generación de electricidad debido a su elevada resistencia al aire. Su bajo coste y fácil construcción les hace útiles para aplicaciones mecánicas.

La principal ventaja del aerogenerador Savonius es su simplicidad. Son aerogeneradores de eje vertical de pequeña potencia y baja velocidad de giro con los que se puede abastecer instalaciones aisladas, de poco consumo y con vientos débiles.

La simplicidad del diseño de los aerogeneradores Savonius permite que su construcción e instalación sea muy fácil. El precio de los aerogeneradores Savonius y su mantenimiento mínimo son otras de las ventajas. El principal inconveniente de los aerogeneradores Savonius es el bajo rendimiento que ofrecen debido a la resistencia que el diseño de las palas ofrece al viento.

La aplicación más común de la turbina Savonius es el ventilador Flettner el cual es comúnmente visto en los techos de furgonetas y buses usado como dispositivo de enfriamiento. El ventilador fue creado por el ingeniero alemán (Flettner, 1935).

Tipos:

Savonius Cilíndrico

- Bipala.
- Multipala.



Imagen 3.11 Aerogeneradores Savonius Bipala y Tripala.

Fuente: <http://www.gea.usm.cl/wp-content/uploads/2009/07/savonius.jpg>

Savonius espiral

- Bipala.
- Multipala.



Imagen 3.12 Aerogeneradores tipo espiral.

Fuente: <http://www.renovables-energia.com/wp-content/uploads/2009/09/aerogenerador-savonius.jpg>

3.4 Ventajas de los Aerogeneradores Verticales

- No se necesita una torre de estructura poderosa.
- Como las palas del rotor son verticales no se necesita orientación al viento, y funcionan aun cuando este cambia de dirección rápidamente.
- Pueden ser ubicadas cerca del suelo, haciendo fácil el mantenimiento de las partes.
- Pueden tomar ventaja de aquellas irregularidades del terreno que incrementan la velocidad del viento.
- Necesitan una menor velocidad del viento para empezar a girar.
- Son menos propensas a romperse con vientos fuertes.
- Son fácilmente evitadas por los pájaros.

3.5 Desventajas de los Aerogeneradores Verticales

- La mayoría de las turbinas verticales producen energía al 50% de la eficiencia de las turbinas horizontales.
- No toman ventaja de los vientos fuertes a mayor altura.

3.6 Aerogeneradores de eje Horizontal

La principal característica de un aerogenerador de eje horizontal es que el eje de rotación se encuentra paralelo al suelo.

Los aerogeneradores horizontales tienen su eje de rotación principal en la parte superior de una torre y necesitan un mecanismo de orientación para hacer frente a los cambios bruscos en la dirección del viento. En la actualidad la mayor parte de aerogeneradores comerciales son de eje horizontal debido al mayor rendimiento que producen con respecto a los aerogeneradores de eje vertical, ya que alcanzan mayores velocidades de rotación por lo que necesitan caja de engranajes con menor relación de multiplicación de giro, además debido a la construcción elevada sobre la torre aprovechan en mayor medida el aumento de la velocidad del viento con la altura.

Por motivos de eficiencia energética y mayor rendimiento el tipo de aerogenerador más habitual en la actualidad es el aerogenerador de eje horizontal. (A.S Laxson, 2001).

Tipos:

Los modelos de eje horizontal puede subdividirse a su vez por el número de palas empleado, por la orientación respecto a la dirección dominante del viento y por el tipo de torre utilizada:

3.6.1 Multipala

Con un número superior de palas o Multipalas. Se trata del llamado modelo americano, debido a que una de sus primeras aplicaciones fue la extracción de agua en pozos de las grandes llanuras de aquel continente.

El molino Multipala se utiliza para bombear agua y fue de enorme utilidad en el siglo XIX. En Estados Unidos, el desarrollo de molinos de bombeo fue el factor principal que permitió la agricultura y la ganadería en vastas áreas de Norteamérica.



Imagen 3.13 Aerogenerador Horizontal Multipalas (Americano).

Fuente: http://www.terra.org/bd_imagenes/0006609.jpg

3.6.2 Tripala

Es el más empleado en la actualidad, consta de 3 palas colocadas formando 120° entre sí. Un mayor número de palas aumenta el peso y coste del aerogenerador, por lo que no se emplean diseños de mayor número de palas para fines generadores de energía de forma comercial, aunque sí para fines mecánicos como bombeo de agua etc.

La mayoría de los aerogeneradores modernos tienen diseños Tripala, con el rotor mantenido en la posición corriente arriba (en la cara de la torre que da al viento), usando motores eléctricos en sus mecanismos de orientación. Este diseño tiende a imponerse como estándar al resto de los conceptos evaluados. La gran mayoría de las turbinas vendidas en los mercados mundiales poseen este diseño. (Bastianon, 1994).



Imagen 3.14 Aerogeneradores Tripala.

Fuente: <http://javierdelucas.es/ntk1500.jpg>

3.6.3 Bipala

Los diseños Bipala de aerogeneradores tienen la ventaja del Ahorra del peso y coste de una de las palas respecto a los aerogeneradores Tripala, Sin embargo, suelen tener dificultades para penetrar en el mercado, en parte porque 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, Para evitar el efecto desestabilizador necesitan de un diseño mucho más complejo, con un rotor basculante y amortiguadores que eviten el choque de las palas contra la torre.



Imagen 3.15 Aerogeneradores Bipala.

Fuente: <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/bipala.jpg>

3.6.4 Monopala

Al tener sólo una pala estos aerogeneradores precisan 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.

Tienen, en mayor medida, los mismos inconvenientes que los Bipala, por lo que el ahorro en peso no es tan significativo.



Imagen 3. 16 Aerogeneradores Monopala.

Fuente: <http://www.electrosector.com/wp-content/uploads/2009/09/aero-ades.jpg>

3.7 Con forme a su orientación de las Palas

3.7.1 Orientadas a Barlovento

Cuando el rotor se encuentra enfocado de frente a la dirección del viento dominante, consigue un mayor aprovechamiento de la fuerza del viento que en la opción contraria o sotavento, pero necesita un mecanismo de orientación hacia el viento. Es el caso inmensamente preferido para el diseño actual de aerogeneradores.

Por otro lado, también hay algo de abrigo enfrente de la torre, es decir, el viento empieza a desviarse de la torre antes de alcanzarla, incluso si la torre es redonda y lisa. Así pues, cada vez que el rotor pasa por la torre, la potencia del aerogenerador cae ligeramente.

El principal inconveniente de los diseños corriente arriba es que el rotor necesita ser bastante inflexible, y estar situado a una cierta distancia de la torre. Además una máquina corriente arriba necesita un mecanismo de orientación para mantener el rotor de cara al viento.

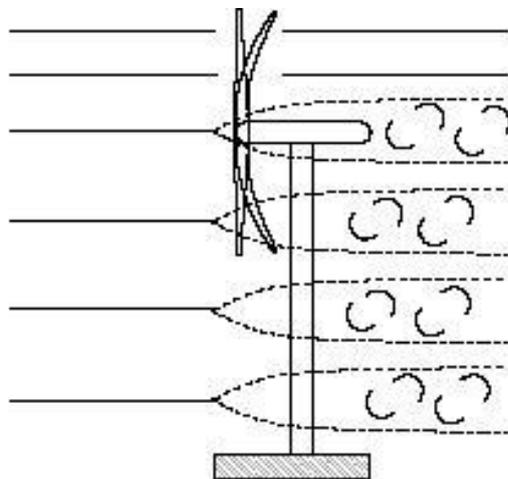


Imagen 3.17 Orientación a Barlovento de un Aerogenerador.

Fuente: <http://www.opex-energy.com/eolica/aerogenerador%20barlovento.JPG>

3.7.2 Orientadas a Sotavento

Cuando el rotor se encuentra enfocado en sentido contrario a la dirección del viento dominante, la estructura de la torre y la góndola disminuye el aprovechamiento del viento por el rotor, en este caso el viento es el que orienta con su propia fuerza a la góndola, por lo que no son necesarios elementos de reorientación automatizada en la teoría, aunque si suelen

utilizarse como elemento de seguridad. Las palas y la góndola son construidos con una mayor flexibilidad que en el caso de orientadas a barlovento.

Un aspecto más importante es que el rotor puede hacerse más flexible. Esto supone una ventaja tanto en cuestión de peso como de dinámica de potencia de la máquina, es decir, las palas se curvarán a altas velocidades del viento, con lo que quitarán parte de la carga a la torre.

- El inconveniente principal es la fluctuación de la potencia eólica, debida al paso del rotor a través del abrigo de la torre. Esto puede crear más cargas de fatiga (disminución de la resistencia mecánica de los materiales del rotor al someterlos a esfuerzos repetidos del viento) en la turbina que con un diseño corriente arriba.

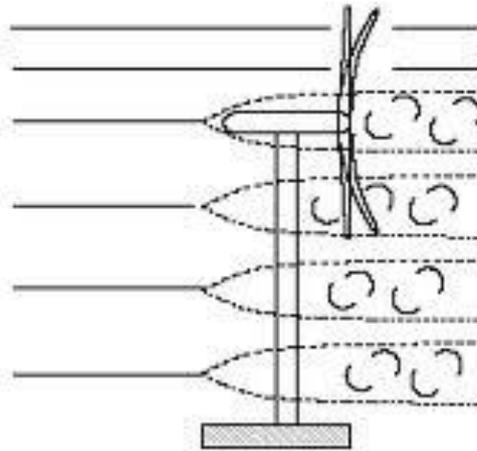


Imagen 3.18 Orientación a Sotavento de un Aerogenerador.

Fuente:<http://www.opex-energy.com/eolica/aerogenerador%20sotavento.JPG>

3.8 Ventajas de las turbinas Horizontales

- Extremos de pala variable, lo que da a las hojas el ángulo de ataque óptimo. Permitir que el Angulo de ataque sea vagamente ajustado proporciona gran control, de modo que la turbina puede recoger la máxima cantidad de energía eólica de cada día y estación.
- Las torres altas permiten acceder a vientos más fuertes en sitios con cizalladura. En algunos lugares, cada 10 metros de altura, la velocidad del viento se incrementa un 20%.

3.9 Desventajas de las turbinas horizontales

- Las turbinas horizontales tienen problemas para funcionar cerca del suelo, debido a las turbulencias.
- Las torres altas y las palas largas son difíciles de transportar. El transporte puede costar un 20% del costo de equipamiento.
- Las turbinas altas son difíciles de instalar y necesitan grúas poderosas y operadores hábiles.
- Las turbinas altas pueden afectar los radares de los aeropuertos.
- Presentan impacto visual en el entorno, y con frecuencia suscitan reclamaciones por afeamiento del paisaje.
- Exigen un control cuidadoso, de lo contrario, son propensas a la fatiga de material y los daños estructurales.
- Tienen que orientarse hacia el viento

3.10 La Energía Mini Eólica o de Pequeña Potencia

En la actualidad, 1.800 millones de personas en todo el mundo viven sin electricidad. Una posible forma de conseguir energía en esas circunstancias es mediante el uso de pequeñas instalaciones que aprovechan la energía del viento. Estos sistemas de *energía mini eólica* o de pequeña potencia consisten en pequeños aerogeneradores conectados a las redes de baja tensión.

Una revolución en el sector energético se está produciendo. La energía mini eólica o de pequeña potencia puede cambiar radicalmente nuestro modelo energético. Gracias a los constantes avances tecnológicos. Los aerogeneradores mini eólicos domésticos pueden ser la solución para abastecer de electricidad a viviendas, empresas y pequeños núcleos urbanos no conectados a la red eléctrica.

Hasta hace poco estos mini aerogeneradores solo se podían utilizar en zonas aisladas debido principalmente al ruido y a las vibraciones que producían. En la actualidad cada vez se están instalando mas aerogeneradores urbanos o mini eólicos ya que estos son modernas maquinas muy eficientes que demuestran el gran potencial de la generación distribuida de energía en nuestras ciudades.

La generación de electricidad a pequeña escala con mini aerogeneradores puede ser la solución energética para zonas aisladas y alejadas de la red

eléctrica, como viviendas aisladas, refugios de montaña, estaciones meteorológicas, etc.

Con la energía mini eólica producimos electricidad a pequeña escala, de forma sostenible, Los pequeños aerogeneradores a diferencia de sus hermanos mayores tienen un efecto visual nulo en el entorno, no necesitan infraestructuras y tienen un fácil y económico mantenimiento.

La energía mini eólica se transforma en una opción muy atractiva para obtener energía eléctrica en lugares apartados donde no llega la red eléctrica, pero sobre todo en lugares donde hay mucho viento, fuerte y durante buena parte del año.

El sector mini eólico está experimentando un fuerte desarrollo tecnológico, en el mercado se pueden encontrar pequeños aerogeneradores caseros de diferentes tamaños, versátiles, tecnológicamente muy fiables y de fácil instalación.

La energía mini eólica es viable con vientos moderados y no necesita de estudios de viabilidad complicados. La sencillez de las instalaciones de estos mini aerogeneradores y su fácil mantenimiento son otra de sus principales ventajas. (Lines, 1991).



Imagen 3.19 Mini Aerogeneradores o de Pequeña Potencia.

Fuente: <http://www.solostocks.com/img/aerogenedor-baja-potencia-6168329z0.jpg>

3.10.1 Funcionamiento

El funcionamiento es simple: la fuerza del viento mueve las aspas de una hélice, el movimiento de ésta produce electricidad y la electricidad se almacena en una batería.

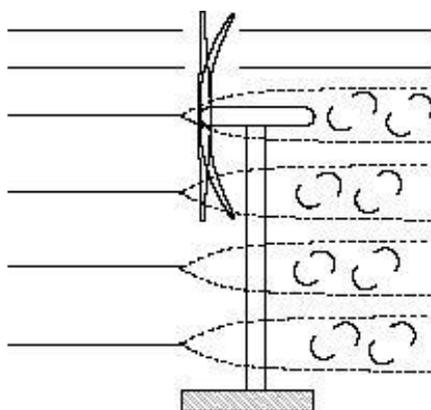


Imagen 3.20 Aerogenerador a Barlovento.

Fuente: <http://www.opex-energy.com/eolica/aerogenerador%20barlovento.JPG>

3.10.2 Instalación

La instalación de un generador eólico casero puede solucionar los problemas de energía de muchas zonas rurales y de pequeña empresas. La máxima ventaja de tener un generador eólico es que no se dependerá de la red eléctrica. En zonas aisladas es muy frecuente quedarse sin abastecimiento de energía eléctrica por cualquier avería. La combinación de un generador eólico y de placas solares puede ser una buena alternativa a la dependencia de la red eléctrica y de los combustibles fósiles causantes del cambio climático.

Un generador eólico domestico es perfectamente compatible con la instalación eléctrica de nuestra casa. Un pequeño generador eólico se adapta fácilmente a cualquier casa, no es necesario cambiar el cableado eléctrico ni realizar grandes obras. En primer lugar hay que tener en cuenta que el generador eólico domestico debe tener la altura suficiente para superar las zonas de turbulencias provocadas por arboles y construcciones cercanas, y se recomienda que el aerogenerador doméstico sea rentable, la media anual de los vientos debe superar al menos 15 km/h, consiguiendo el máximo rendimiento con medias de 40 km/h anuales. Antes de instalar un aerogenerador domestico es importante asesorarse bien con profesionales del sector eólico. Para que nos aconsejarán que tipo de generador eólico sea

el idóneo para nosotros y además estudiarán la fuerza e intensidad del viento en la zona.



Imagen 3.21 Mini Aerogenerador desmontable y batería.

Fuente: http://4.bp.blogspot.com/_auU5bx0VL Ts/Rnrw_7DQZjI/AAAAAAAABE4/ky5BCK5j5vY/s320/cargador-orange.jpg

A diferencia de los aerogeneradores gigantes de los grandes parques o centrales eólicas, los aerogeneradores caseros o mini eólicos son utilizados para suministrar energía eléctrica a edificios e instalaciones que no están conectados a la red eléctrica. Cada vez es más habitual ver pequeños aerogeneradores caseros en zonas rurales, en escuelas, supermercados, granjas e incluso viviendas particulares. Poseer un pequeño aerogenerador casero a parte de solucionar el suministro de energía eléctrica es como declarar al mundo que uno está implicado en la lucha contra el cambio climático.

Algunas diferencias de los grandes aerogeneradores y la mini eólica.

La altura de los generadores: Un generador mini eólico, colocado en un tejado, no necesita más de 2 metros de alto, mientras que en instalaciones aisladas no supera los 20 metros. Por su parte, un gran aerogenerador puede alcanzar unos 120 metros de altura.

El diámetro de las aspas: El de la mini eólica suele tener unos 3 metros de media, mientras que en los grandes molinos puede llegar a los 90 metros.

Potencia: Los pequeños generadores más comunes oscilan entre los 1,5 kW y los 3 kW. Por su parte, un gran aerogenerador puede tener 2.000 kW. (Spera, 1998).

3.11 Ventajas de la Energía Mini Eólica

- Se consigue un ahorro económico. La inversión inicial para construir el generador eólico casero se amortiza rápidamente.
- Con el auge de las energías renovables y en particular la energía eólica, los precios y el rendimiento de los generadores eólicos son cada vez más competitivos.
- Podemos destacar su fácil instalación y su bajo coste de mantenimiento.
- Una vez instalado su mantenimiento es prácticamente nulo y su duración de más de 20 años.
- La instalación de un generador eólico en nuestra casa puede ser una gran inversión.
- Además del ahorro económico a medio y largo plazo, también hay que considerar el aerogenerador eólico domestico como una mejora que aumenta el valor de la propiedad.
- Funciona con una fuente inagotable, respetuosa con el medio ambiente, autóctona.
- Menor impacto visual que las máquinas grandes.
- Permite el bombeo de agua directo.
- No requiere complejos estudios de viabilidad.
- Da la posibilidad instalaciones híbridas.
- Genera empleos.
- Requieren un bajo mantenimiento y proporcionan la electricidad que puede suponer una notable "mejora en la calidad de vida."
- Diseño y tecnología simplificados.
- Elegante, discreto, moderno e innovador.
- Construido con componentes estándares completamente desmontables.
- Un sistema de giro de eje vertical o horizontal: por lo que no necesita una gran torre de sustentación.
- Sencillo de instalar y transportar.
- Sistema de seguridad múltiple.

3.12 Desventajas de la Energía Mini Eólica

- Para zonas sin conexión a la red eléctrica son una buena alternativa. Pero en la actualidad en zonas con un adecuado suministro eléctrico, como las ciudades, la utilización de aerogeneradores domésticos no es habitual (dependiendo del estudio eólico).
- La falta de regulación específica y la insuficiencia de la retribución, de incentivos fiscales, dificulta enormemente su rentabilidad.
- Calcular el ahorro concreto que los generadores eólicos domésticos producen es difícil.
- Depende de diferentes factores como la inversión inicial, la cantidad de electricidad que se consume al año y la velocidad del viento.

3.13 Instalación Híbrida

Si la instalación mini eólica se complementa con paneles solares térmicos y fotovoltaicos se puede conseguir la autosuficiencia energética y garantizar el suministro eléctrico de nuestra vivienda. Para asegurar el total suministro de energía los días de condiciones meteorológicas adversas se utilizan sistemas de acumulación, como las baterías. Otra aplicación de estos mini aerogeneradores utilizada desde hace mucho es el bombeo de agua del subsuelo.



Imagen 3.22 Esquema de Instalación Híbrida (Aerogenerador con paneles Solares).

Fuente: <http://www.lacasasostenible.com/fotos/esquema-eolica-domestica.jpg>

3.14 Aplicación Mini Eólica en México

En nuestro país, a diferencia de la energía solar casera, la demanda de energía mini eólica es casi nula. En cambio gobiernos como el de Reino Unido tienen el objetivo que en el 2050 un 40% de la electricidad generada sea a partir de micro generación, es decir de instalaciones mini eólicas, solares domesticas y mini hidráulicas.

La combinación de una política que apoye al sector de los eólicos y los futuros avances tecnológicos puede llevarnos a una esperada y deseada revolución energética.

Es un hecho que cada vez es más rentable autogenerar nuestra propia energía, para poder cubrir nuestras necesidades independientemente del coste de la factura eléctrica.

Las soluciones en mini eólica de baja potencia representan una alternativa válida para hacer frente a la escalada de precios con soluciones ecológicas (sin emisiones de CO₂) y baratas en cuanto al retorno de la inversión.

Incluso existe la posibilidad, de construir un pequeño aerogenerador nosotros mismos. En comercios especializados en energías renovables podemos encontrar los materiales necesarios. Para Producir y consumir la electricidad nosotros mismos. Existiendo la utilización de materiales reciclables y baratos que son fáciles de conseguir.(El sistema eléctrico español, 2009).



Imagen 3.23 Mini Aerogenerador Multipalas.

Fuente: <http://aerogenerador-pequeno-de-e-je-horizontal-y-tres-palas-22563.jpg>

3.15 Nuevas Tecnologías Eólicas

La producción de energía renovable y el crecimiento de la demanda están ganando impulso en muchas formas en todo el mundo. Hay una creciente demanda de la energía eólica y hoy todos los fabricantes de equipos de energía eólica se están preparando para responder a la demanda y tomar ventaja de ello. La energía eólica tiende a un crecimiento de la capacidad para llegar a 400GW en los próximos cinco años y en el año 2014 final, y se cree que Asia liderará el mundo en potencia eólica instalada.

A continuación algunos ejemplos de estas nuevas tecnologías eólicas:

3.15.1 Generadores Eólicos Volantes

No está lejos cuando el hombre trate de alcanzar el cielo, es el nuevo lema para la generación de energía renovable y rentable. Inicialmente se consideró que técnicamente no viable para aprovechar los vientos a gran altitud. Pero hoy en día, materiales avanzados y equipo técnico conocimientos innovadores están dando nueva vida a este régimen con las innovadoras estructuras aéreas autónomas.



Imagen 3.24 Visión de Aerogenerador Volante.

Fuente:<http://www.ewind.com/userfiles/image/noticias/thumb/Makani-large.jpg>

3.15.2 Aerogenerador MARS

La empresa MagennPower ha construido uno.

El diseño de Maggen, denominado MARS (Maggen Air Rotor System) consiste en un globo cautivo que rota por efecto del viento; este movimiento de rotación acciona un generador eléctrico que produce la energía.



Imagen 3.25 Visión artística del MARS.

Fuente:http://teleobjetivo.org/wp-content/uploads/2008/05/aerogenerador_mars.jpg

El MARS se sitúa a una altura de unos 300 metros, donde el viento es más intenso y constante que en la superficie, lo que le permite producir una mayor cantidad de energía y, además, hace al sistema independiente de la localización. Mientras los aerogeneradores convencionales requieren unos estudios previos para elegir su ubicación, MARS puede desplegarse en cualquier parte.

La mayor ventaja de este sistema es la portabilidad, que ha llevado a la empresa a definirlo como "energía eólica en cualquier sitio". Un camión transporta el globo desinflado y, en el lugar donde se precise, se infla y se lanza al aire; esto no solo simplifica y abarata el despliegue de este sistema, también permite crear centrales móviles que podrán utilizarse en zonas donde se ha producido un corte en el suministro eléctrico.(Landi, 2002; Sani, 2002).

La compañía ha construido un prototipo de 10Kw de potencia

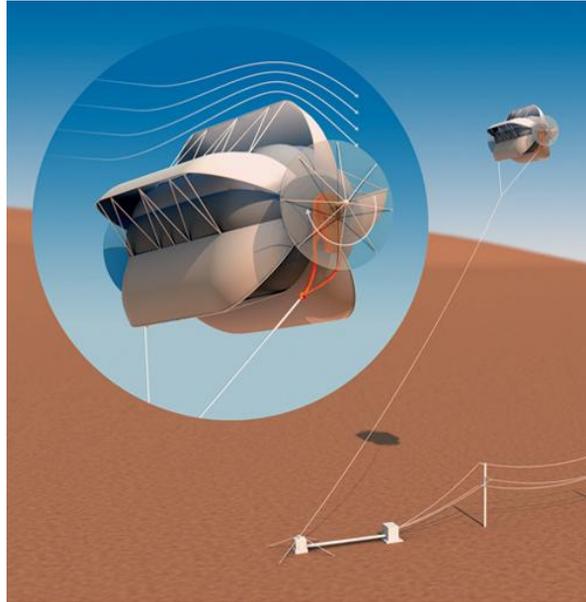


Imagen 3.26 Visión Artística del MARS, y conexión a la red eléctrica.

Fuente:<http://ecolosfera.com/img/ecolosfera/2008/05/magenn2danimation.gif>

3.15.3 Aerogenerador “Rosa de los Vientos”

La Rosa de los vientos es la última invención que ha sido introducida a este nicho de energía cada vez mayor. La Rosa de los Vientos es un pequeño dispositivo portátil que es lo suficientemente pequeño para caber en el maletero del coche y apenas se van a notar. Sin embargo, una vez que esta turbina de viento, portátil, sale, es ciertamente acaparará la atención. Esta popularizándose para usos en lugares donde no hay suministro de corriente eléctrica. (Kuik, 2003).



Imagen 3.27 Aerogenerador denominado Rosa de los Vientos.

3.15.4 El WindCube

El WindCube se basa en su "túnel de viento" efecto conocido en física como el Principio de Bernoulli. Mientras que el resto de la industria eólica genera energía a través del uso del viento libre flujo, el WindCube capta y amplifica el viento, que produce más de kilovatios-hora (kWh). Como el viento se encuentra con el WindCube cubierta, que se concentra la creación de mayor velocidad y, a su vez, más poder.

Debido a estos atributos, el WindCube es el único diseñado para producir energía en las zonas urbanas, rellena con las limitaciones de espacio.

El WindCube se encuentra actualmente en el proceso de la estricta norma IEC-61400-2 pruebas, también conocido como el estándar para las pequeñas turbinas de viento de pruebas

"Con la WindCube, los propietarios de edificios en todas partes ahora se consideran parte de la imagen de la energía renovable".



Imagen 3.28 Wind Cube colocados en azoteas.

Fuente:<http://blog.limpiatumundo.com/wp-content/uploads/2010/06/windcube.jpg>

3.15.5 Aerogeneradores a Reacción "FloDesing"

Es una nueva tecnología que viene de FloDesign . Su turbina de viento única en realidad está basada en el diseño de un motor a reacción en lugar de los tradicionales molinos de viento que vemos en todo el país. Su concepto parece ser muy simple, pero extremadamente eficaz. (Sánchez, 2003).

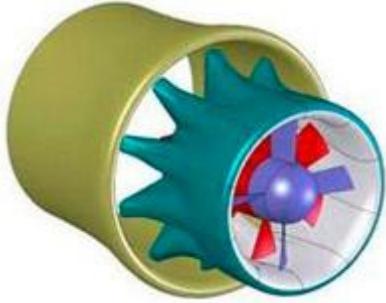


Imagen 3.29 Visión artística del "FloDesing".

Fuente: http://www.acousticecology.org/pix/photos/wind_FloDesign.jpg

3.15.6 Aerogenerador Loopwing

Loopwing es una nueva turbina de viento que ha diseñado una compañía japonesa. Está pensada para generar electricidad para uso doméstico. Sus láminas silenciosamente equilibradas le hacen tener unas características técnicas que no tiene ninguna otra turbina de uso doméstico.

Puede funcionar con vientos de solo 1.6 m/s, lo que significa que funciona con brisas muy ligeras. Su diseño reduce la vibración enormemente. Son mucho más eficientes que el resto de turbinas del mercado e incluso más que los paneles solares. (Yuan, 2001;Yaow, 2001).



Imagen 3.30 Aerogenerador Loopwing.

Fuente:http://www.ignaciourbina.com/wordpress/wp-content/uploads/2010/07/wind_turbine.jpg

3.15.7 "Castle House" Turbinas Eólicas integradas en torre de apartamentos.

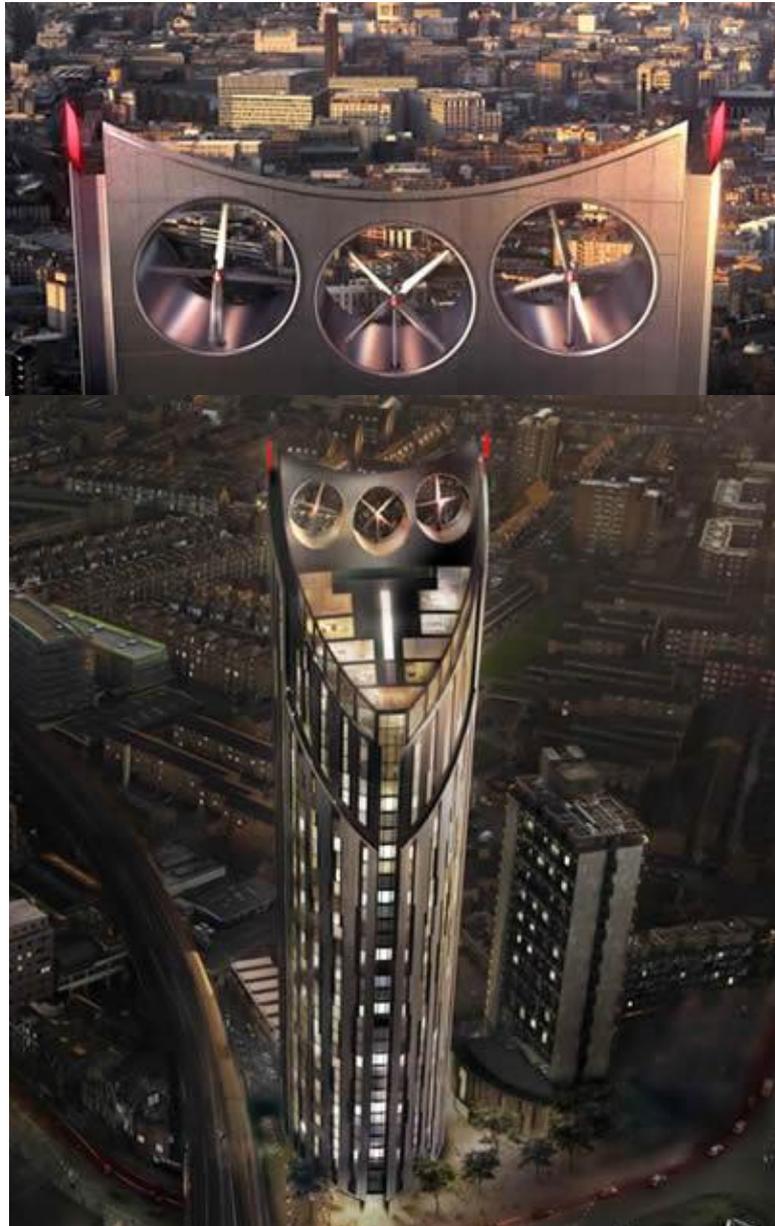


Imagen 3.31 Visión Artística de los Aerogeneradores en Edificio:"Castle House".

Fuente:<http://www.inhabitat.com/wp-content/uploads/castleskyline.jpg>

En Londres, se ha proyectado una torre de apartamentos con una peculiaridad, en su parte más alta tendrá integradas 3 turbinas eólicas, pensadas para que provean de energía eléctrica al sistema de iluminación del edificio. Cada turbina tendrá un diámetro de 9 metros.

3.15.8 GE: Nueva Generación de Turbinas Eólicas 25% más Eficientes

GE ha estado trabajando en el nuevo diseño de una turbina eólica más eficiente, 25% más eficiente de hecho. En vez de hacer la turbina más grande para poder generar más energía como otros fabricantes han hecho, GE está diseñando aspas más largas y un tren de mando más eficiente.

GE espera estrenar la nueva turbina de energía eólica, que tendrá 300 pies de alto y tendrá un rotor con diámetro de 360 pies en el 2012.

La turbina tendrá una capacidad de 4 MW de generación, lo cual no es nada impresionante comparada con la de 10 MW

Tiene dos cambios significativos en el diseño: el tren de mando es mucho más simple y eficiente (lo que aprovechará mejor cada viento que llegue a las aspas), y tendrá aspas más largas y un 40% más ligeras, con lo que se podrán mover con vientos menos fuertes.

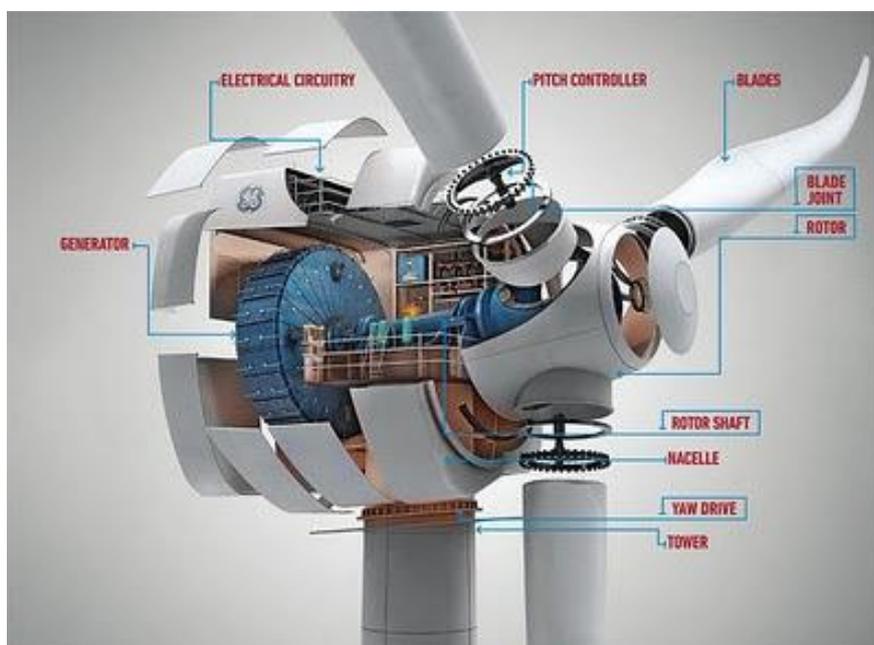


Imagen 3.32 Componentes de aerogenerador GE.

Fuente: <http://www.evwind.com/userfiles/image/noticias/thumb/gewind1.jpg>

3.15.9 Generador "VIEG"

Los generadores VIEG : Desarrollados por "Exro Technologies" se tratan de unos generadores de energía eólica altamente eficientes. Los generadores VIEG tienen la particularidad de haber sido concebidos desde el inicio para adaptarse en forma casi completa a velocidades extremas del viento, sacando provecho incluso cuando la velocidad del viento es cercana a cero. Según sus creadores, a lo largo de un año, la utilización del VIEG permite obtener un 50% más de energía que los aerogeneradores tradicionales. El secreto del dispositivo reside en una composición de bobinas separadas, que pueden encenderse y apagarse individualmente con interruptores electrónicos, para adaptarse a la velocidad del viento.

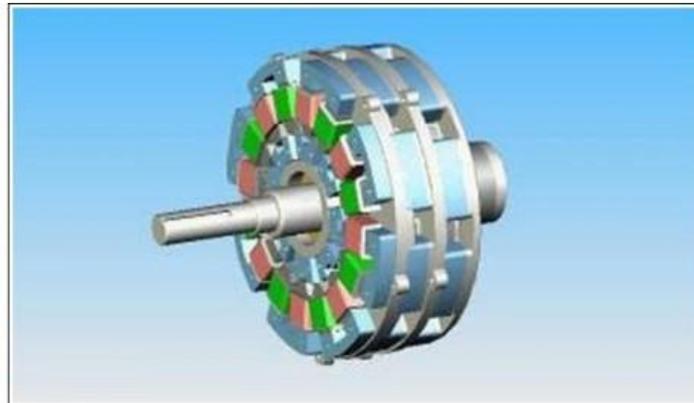


Imagen 3.33 Visión Artística del generador VIEG.

Fuente:<http://erenovable.com/wp-content/uploads/2008/11/image-thumb8.png>



Imagen 3.34 Visión artística de aerogenerador VIEG.

Fuente:<http://erenovable.com/wp-content/uploads/2008/11/image-thumb9.png>

3.15.10 Aerogeneradores Quietrevolution (QR)

Los aerogeneradores silencios de Quietrevolution (QR): Se trata de un tipo de aerogeneradores que tienen la ventaja de ser silenciosos y modernos. Ideal para ser instalados en zonas urbanas, donde los ruidos y vibraciones pueden molestar a los vecinos. La novedad que introduce QR es el diseño de aerogeneradores de ejes verticales con forma de S. Esta disposición ayuda a amortizar el ruido molesto que generan las turbinas y a reducir las vibraciones. Además, la empresa está pensando en equipar a los generadores con luces Leds para que a la vez que aprovechan la energía del viento den un bonito espectáculo a la vista. (Meadors, 2003).



Imagen 3.35 Aerogeneradores Quietrevolution iluminando las calles.

Fuente: <http://erenovable.com/wp-content/uploads/2008/12/image17.png>

3.15.11 Iluminando carreteras con el Viento

La industria de las autopistas y vías de transporte tienen que incorporar nuevas tecnologías para lograr un ecosistema sustentable y disminuir el impacto ambiental.



Imagen 3.36 Aerogeneradores iluminando carretera.

Fuente:http://82.98.146.215/userfiles/90834_TurbineLight31%5B1%5D%5B1%5D.jpg

La propuesta consiste en aprovechar el viento que generan los vehículos en las carreteras por medio de turbinas colectoras de viento para abastecer el sistema de iluminación.



Imagen 3.37 Circulación del viento en Aerogenerador.

Fuente:<http://82.98.146.215/userfiles/turbinelight1%5B1%5D%5B1%5D.jpg>

3.15.12 Torres Eólicas

Torres eólicas: Se trata de un dispositivo diseñado por Dr. Majid Rashidi también con el objetivo de aprovechar la energía del viento en las grandes ciudades. El diseño de Rashidi consiste básicamente en pequeñas torres con forma de espiral que poseen una serie de turbinas colgando desde el tope de la torre hacia los costados. La torre, que tiene bordes curvos, tiene el efecto de acelerar la velocidad del viento haciendo que las turbinas giren más rápido y tengan un mayor nivel de eficiencia. Para su inventor estas torres, ubicadas en lo alto de los edificios, son una gran solución para aprovechar la energía del viento en zonas citadinas. (Rashidi, 2000; Butterfield, 2000).

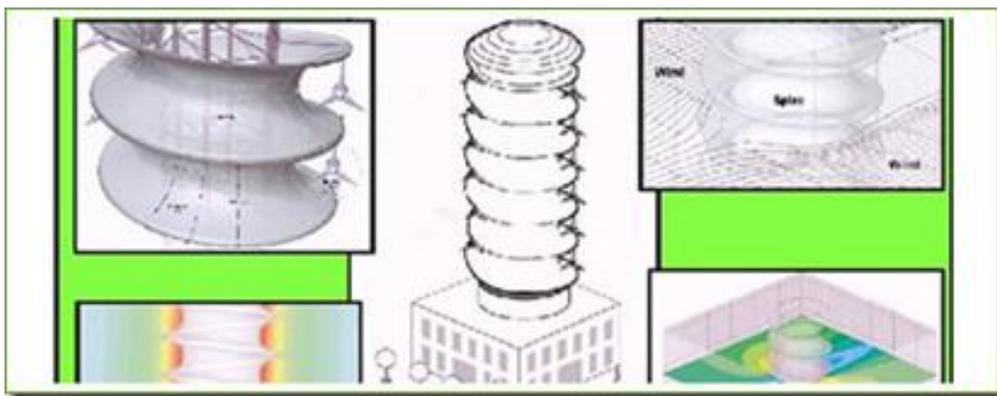


Imagen 3. 38 Visión artística de Torres Eólicas.

Fuente:http://arquitecturas.files.wordpress.com/2008/02/1_torre_eolica_332_1060x162r11_1202901897.jpg

3.15.13 La EnergyBall

EnergyBall: Se trata de una pequeña turbina de viento, con forma de balón, ideada para el uso doméstico. Compuesta por seis paletas que giran alrededor de un eje, sigue para su funcionamiento el Principio o Efecto de Venturi que permite aprovechar el viento que queda "atrapado" en la turbina. Gracias a este particular diseño la pequeña esfera eólica produce menos ruido y es más eficaz al aprovechar vientos más suaves. (D.Schwartz, 1999).



Imagen 3.39 Aerogenerador EnergyBall probado en Aeropuerto.
Fuente:<http://www.ecofield.com.ar/images-blog/IMAGES/100908x3.jpg>



Imagen 3.40 Aerogenerador EnergiBall.
Fuente:<http://www.inhabitat.com/wp-content/uploads/energyballed1.jpg>

3.15.14 El Windbelt

Por último tenemos el Windbelt, que en realidad no es una turbina de viento sino un dispositivo completamente diferente y revolucionario para aprovechar la energía eólica. Se trata de un dispositivo que aprovecha la fuerza del viento para generar energía basándose en un fenómeno aerodinámico conocido como aeroelasticidad "flutter" o flameo. Este fenómeno consiste en "una vibración auto inducida que ocurre cuando una superficie sustentadora se dobla bajo una carga aerodinámica". Básicamente se trata de la fuerza que producen las vibraciones que genera el viento. El Windbelt en si mismo consiste en una membrana tirante que cuando el viento pasa a través de ella, hacer vibrar bobinas de metal y genera electricidad. (Mohan, 1995).

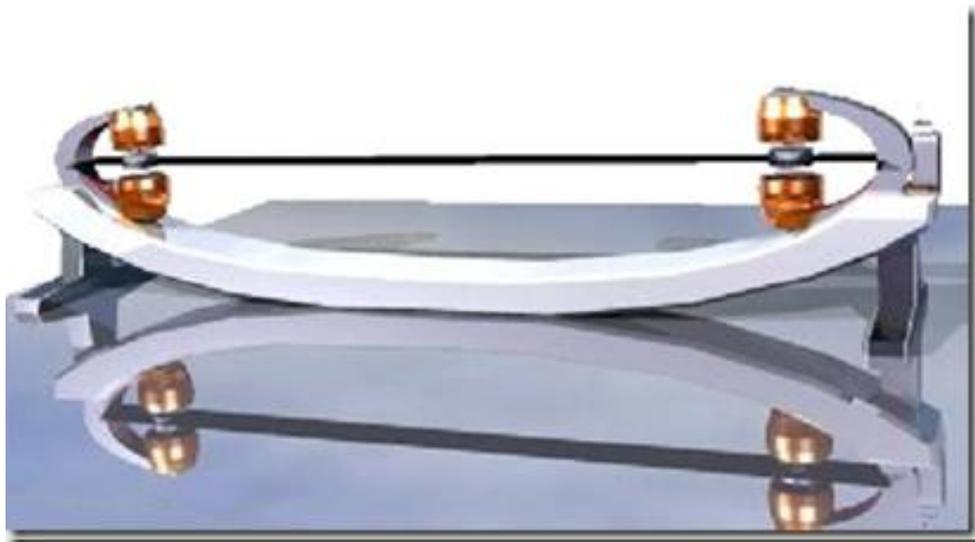


Imagen 3.41 Visión Artística del Windbelt.

Fuente:<http://82.98.146.215/userfiles/windbelt-technology-illustr%5B1%5D.jpg>

3.15.15 Aerogenerador Honeywell



Imagen 3.42 Aerogenerador Honeywell instalado en una casa.

Fuente: <http://i126.photobucket.com/albums/p115/fergofer00/blog-isa/turbina-viento-honeywell.jpg>

Tiene previsto tener en el mercado para el otoño un modelo de aerogenerador doméstico (Honeywell) capaz de producir energía a bajas velocidades de viento (2mph) y funcionar hasta velocidades de 45mph (por autoprotección), cuando lo normal en las turbinas domésticas es que lo hagan en un rango de 7.5-29mph. El diseño de la turbina Honeywell es clave para la generación de energía a tan baja velocidad del viento, a diferencia de los modelos de eje vertical o de tres palas, éste se parece más a un ventilador, es más eficiente. Su diámetro es de 1,83m y pesa 43kg. (Escudero, 2004).



Imagen 3.43 Aerogenerador Honeywell.

Fuente: <http://i126.photobucket.com/albums/p115/fergofer00/blog-isa/aerogenerador-domestico.jpg>

Teniendo en cuenta su capacidad de producir 2,000kw/año (el 15-20% del consumo de una casa), el retorno de inversión puede estar entre 12-36 meses.

3.15.16 Turbinas Eólicas AeroCam

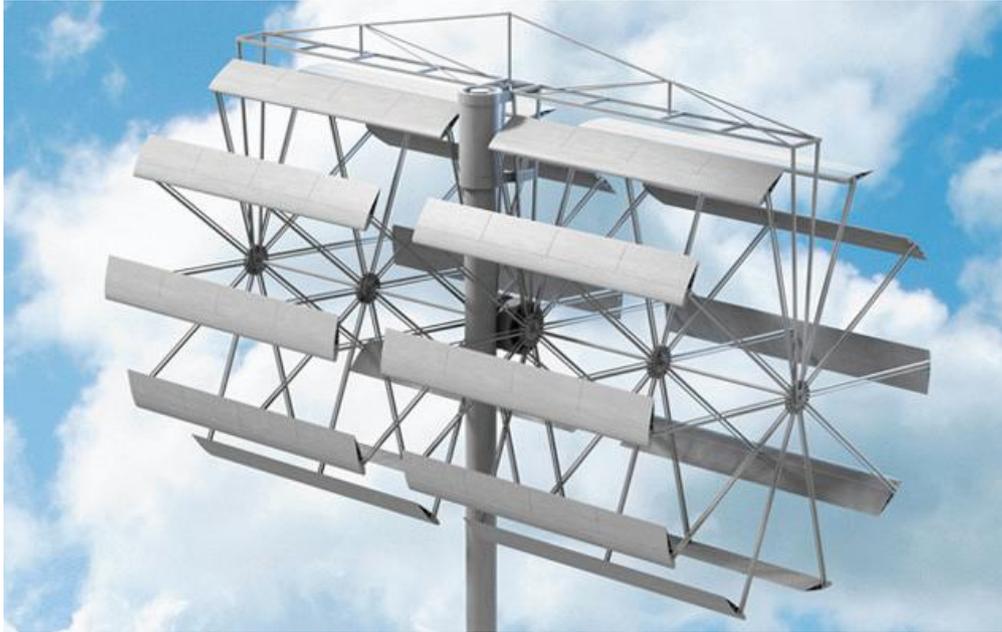


Imagen 3.44 Visión Artística de turbina AeroCam.
Fuente:<http://ecolofera.com/img/ecolofera/2008/06/aerocam-turbinas.jpg>

Las turbinas eólicas AeroCam tienen un eje horizontal con varias palas, dándole la apariencia de una noria de agua. Otra de las ventajas de este tipo de turbinas radica en la capacidad de regular de forma automática el Angulo de ataque de las palas según va rotando el eje lo que permite optimizar su rendimiento.

Según sus desarrolladores, los AeroCam son capaces de generar la misma potencia que un aerogenerador tradicional, con un tamaño muy inferior y junto a su diseño son muy apropiados para las azoteas de los edificios u otros sitios en los que un aerogenerador tradicional no tendría cabida.

Debido a su diseño se adapta rápidamente a los cambios de dirección y de velocidad del viento.(Fraile, 2003).

3.15.17 Enercon E-126

El aerogenerador más grande del mundo, que se está construyendo en Noruega con un diámetro de rotor de 475 metros, ofrece 10 megavatios de potencia, tres veces más que las turbinas eólicas actuales.

Está siendo levantado por la compañía noruega Sway, con vistas a su instalación en futuros parques eólicos en el mar. En la actualidad, la turbina eólica más grande del mundo en funcionamiento es la Enercon E-126, que ofrece 7 MW, con un diámetro de rotor de 413 metros. Está instalada en Emden, Alemania.



Imagen 3.45 Ensamblando La Enercon E-126.

Fuente: <http://www.treehugger.com/enercon-e126-002.jpg>

3.15.18 Aerogenerador "X"

El generador noruego, que mide 162,5 metros de altura (un poquito más que la Torre Picasso) costará la friolera de 67,5 millones dólares y con sus 10 MW podrá alimentar a cerca de 2.000 hogares. Pero funcionará muy al límite de su resistencia, pues si las palas fueran más grandes, la fuerza del viento marino unido al enorme peso podría fracturarlas por fatiga.

Justo cuando se pensaba que este era el límite de diseño para los próximos años, un grupo de ingenieros, capitaneados por el británico EdenGrimshaw, han pensado una curiosa solución para aumentar el rendimiento de los aerogeneradores off-shore.

El concepto, llamado todavía "Aerogenerador X", tendría un radio de giro de 275 metros y también produciría 10 megavatios de electricidad, tres veces la capacidad de producción de las turbinas comerciales de eje horizontal. ya que utiliza dos juegos de palas para que todo el conjunto gire sobre su eje, respondiendo a las limitaciones financieras y tecnológicas de estos ingenios para aplicaciones en alta mar.

El potencial del diseño radica en que la mayor parte del peso de la máquina se concentra en la base, en lugar de en las aspas. Las palas así no sufren la tensión constante de la fuerza centrífuga marcada por su peso y por lo tanto se puede construir un generador mucho más ligero que una máquina horizontal de potencia comparable. La altura, al estar inclinado, se reduce significativamente, por lo que a su vez se reduce su visibilidad en el horizonte marino.

La firma de ingeniería británica ARUP, que acaba de terminar (con resultados positivos) un estudio de viabilidad de 18 meses, espera construir un modelo de trabajo en pleno funcionamiento para 2013, basándose en la tecnología de flotabilidad de las plataformas petrolíferas, ya que este tipo de aerogeneradores no se fijan al fondo marino como los grandes modelos noruegos, sino que deben colocarse decenas de metros por encima de las olas.

Además, el diseño podría ser optimizado para producir turbinas que generen 20 MW o más, para abastecer de energía a cerca de 5.000 familias con un solo generador, el equivalente a 2 millones de barriles de petróleo para una vida de 25 años.



Imagen 3.46 Visiones artísticas del Aerogenerador "X" en el Mar.

Fuente: <http://cdn.ubergizmo.com/photos/2010/7/aerogenerator-x.jpg>

The page features a decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes, each with a gradient from dark blue to light blue. These circles are arranged in a vertical line, with the largest at the top, a medium one in the middle, and a large one at the bottom right. Two thin blue lines intersect at the top left, forming a V-shape that frames the circles.

CAPITULO4

DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES Y
CONSTRUCCIÓN.

4.1 Descripción de Componentes del Mini Aerogenerador

4.2 Las Palas del Mini Aerogenerador

Las palas (conjunto "rotor") son una parte muy importante del aerogenerador. De su naturaleza dependen el buen funcionamiento y la duración de la vida de la máquina, así como su rendimiento.

Hay muchos elementos que caracterizan estas palas:

- longitud
- anchura
- perfil
- materiales
- número

El diámetro de las palas está en función de la potencia deseada. La determinación de éste, fija también la frecuencia de rotación máxima, que la hélice no deberá pasar para evitar las tensiones en la punta de las palas, debidas a la fuerza centrífuga. Es esencial tener en cuenta la fatiga de las palas y los riesgos de vibraciones, sobre todo para las palas muy largas.

Tabla 1. Organigrama para la determinación de los elementos de aeromotor.

En (metros)	1	2	5	10	20	50
Máximo (rpm.)	2000	1000	400	200	100	40

Esta relación determina, en efecto, al rendimiento de la hélice en relación al límite de Betz, según el tipo de máquina.

4.3 Limite de Betz

La Ley o limite de Betz dice que solo se puede convertir como máximo, un 16/27 (59%) de la energía cinética en energía mecánica al utilizar un aerogenerador.

Ya fue referido que la potencia varía con el cubo de la velocidad del viento, y proporcionalmente con la densidad del aire. La mayor parte de la energía eólica está localizada arriba de la velocidad media del viento de proyecto. Para la producción de energía eléctrica en gran escala, solo locales con valores de velocidades media anuales superiores a 6 m/seg son interesantes, abajo de este valor no existe viabilidad para este tipo de aplicaciones.

De hecho la velocidad a la cual los aerogeneradores comienzan a girar se sitúa entre 3-5 m/s (velocidad de arranque), no en tanto abajo de 5 m/s la cantidad de energía en el viento es muy baja, y la turbina apenas comienza a funcionar alrededor de 5 m/s.

Los valores ideales de aprovechamiento andan alrededor de 9-10 m/seg. No en tanto las turbinas pueden ser diseñadas para una eficiencia máxima dependiendo de la zona de velocidad de viento donde esté la mayor parte de la energía.

Las turbinas eólicas horizontales suelen tener la eficiencia en el rango de 35-40%, con tanta claridad que no hay conflicto hay entre la teoría y la práctica. Si los generadores de electricidad y la distribución se tienen en cuenta, la eficiencia cae al rango de 10-30%. Sólo 10-30% de la potencia del viento es siempre realmente convertida en electricidad utilizable.

Calculando la potencia teórica, la cual está dada por:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

Donde:

P= potencia teórica.

A= área de barrido del aerogenerador $A = \pi(d/2)^2$

V= velocidad del viento (5m/s)

ρ =densidad del viento (1.24 kg/m³)

Sustituyendo:

$$P = \frac{1}{2} (1.24 \text{kg/m}^3) (3.1416 \text{m}^2) (5 \text{m/s})^3$$

$$P = 243.474 \text{ Watts}$$

Entonces calculamos el flujo másico viene dado por:

$$M = \rho A V$$

Sustituyendo:

$$M = (1.24 \text{Kg/m}^3) (3.1416 \text{m}^2) (5 \text{m/s})$$

$$M = 19.60 \text{ kg/s}$$

La potencia que lleva el viento antes de llegar al rotor viene dado por:

$$P_0 = (\rho/2) v_1^3 A$$

V_1 = Velocidad de entrada del viento

Sustituyendo:

$$P_0 = (1.24 \text{Kg/m}^3 / 2) (3.1416 \text{m}^2) (5 \text{m/s})^2$$

$$P_0 = 243.474 \text{ Watts}$$

4.4 El Perfil

Se elige en función del trabajo deseado, ya que cada perfil proporciona, un ángulo de ataque óptimo.

Cuando ya se ha elegido el perfil y la velocidad de giro para la velocidad nominal del viento, se determina el calaje.

Para la mayoría de los mini aerogeneradores de mediana y pequeña potencia las palas no están alabeadas, es decir, el ángulo de ataque sólo es óptimo para una sección de la pala, situada entre la mitad y los dos tercios del rotor.

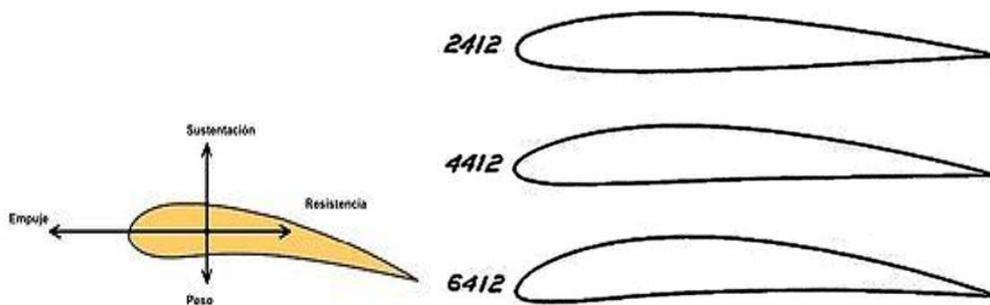


Imagen 4.1 Fuerzas en un perfil y tipos de perfiles NACA.

Fuente: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/50/Aerofuerzas.jpg/250px-Aerofuerzas.jpg>

4.5 Materiales de las palas del Rotor

En todos los aeromotores actuales, se está estudiando el método de construcción de las palas que se deben hacer para aumentar la seguridad del funcionamiento, manteniendo los precios, sin que las máquinas se transformen en prototipos eternos que no puedan comercializarse.

Los materiales utilizados en las palas son esenciales tanto como el sistema de orientación, son los dos elementos básicos que definen la calidad del aeromotor.

El material utilizado para las palas debe responder en los aeromotores modernos a frecuentes elevaciones de rotación y a otras exigencias, a veces contradictorias:

- Ligero.
- Perfectamente homogéneo para facilitar la producción en serie.
- Indeformable.
- Resistente a la fatiga mecánica (en particular a las tensiones alternas debidas al funcionamiento de los rotores y las vibraciones).
- Resistente a la erosión y a la corrosión.
- De uso y producción sencillos.
- Coste bastante bajo para que el aeromotor se pueda construir y vender.

Actualmente se encuentran cuatro tipos de materiales para hacer las palas de la hélice.

Tabla 1 Los cuatro tipos de materiales más usados en hélices.

Material	Ventajas	Desventajas
Madera	Es sencilla, ligera, fácil de trabajar y resiste bien la fatiga, relativamente económica.	El nogal y cedro son maderas escasas y de alto costo, necesitan recubrimientos, se hinchan algunas.
Metal	Buena resistencia a la fatiga, Si son aleaciones ligeras: con silicio y magnesio, aluminio moldeado, hilado o repujado.	Construcción compleja, pesadas, coste elevado, falta de homogeneidad en la construcción
Fibra de Vidrio	Económica, resiste el esfuerzo y fatiga, buen aislamiento térmico, inerte ante ácidos, soporta altas temperaturas, soporta la corrosión.	Los compuestos químicos con los que se trabajan dañan la salud, equipo especializado en su aplicación
Fibra de carbono	Muy ligera, alta dureza, alta resistencia mecánica, baja densidad, gran aislamiento térmico, resistencia a las vibraciones, resistente altas temperaturas	No resiste altos impactos, muy cara, largo proceso de producción y compleja fabricación.

4.6 Número de Palas

Los mini aerogeneradores denominados "rápidos". Generalmente son Bipala o Tripalas; el número de palas no tiene influencia en la potencia proporcionada, sino que es función de la superficie barrida por el rotor.

El número de palas de un aerogenerador no es de gran importancia para su actuación, tendremos que elegir en función del coste de fabricación. Un número de palas elevado tendrá un costo alto y un mayor par de arranque, mientras que un número de palas bajo será barato pero tendrá un par de arranque bajo.



Imagen 4.2 Mini Aerogeneradores de dos y tres palas.

Fuente: <http://www.sunwind-ibiza.com/img/turbine.jpg>

4.7 Dispositivo de Orientación

Existen muchos dispositivos de orientación, elegidos generalmente de acuerdo con la cantidad de viento recibida por las palas del mini aerogenerador. Ya que este es parte importante del buen rendimiento del mini aerogenerador.

El sistema de orientación deberá cumplir con la condición necesaria de mantener el rotor cara al viento sin provocar grandes cambios de dirección del rotor cuando se produzcan cambios rápidos de la dirección del viento.

Para los aeromotores de pequeña y mediana potencia, cuya hélice está situada cara al viento (barlovento), el dispositivo de orientación es una cola, constituida generalmente por una superficie plana (placa metálica o de madera etc.) situada en el extremo de un soporte unido al cuerpo del aeromotor.

Para evitar que la cola o veleta esté situada en la zona de turbulencias debidas a la rotación de la hélice, se deja a una distancia proporcional al radio o superior a esta, para dejar al mini aerogenerador fuera de las perturbaciones.

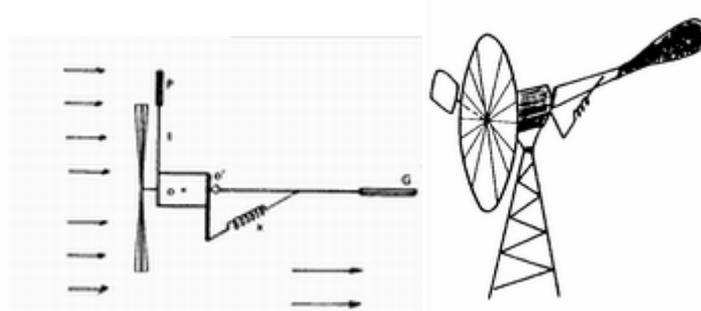


Imagen 4.3 Dispositivo de orientación.

Fuente:<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia33/IMAGES/aerogenerador03.gif>

4.8 Torre

Los mini aerogeneradores deben estar situados sobre una estructura de soporte capaz de aguantar el empuje del viento. Existen varios tipos de torres como los que se describen a continuación:

Tipos de torre: a) tensada, b) celosía, c) tubular y d) híbrida.

a) Torres de mástil tensado.- Muchos de los aerogeneradores pequeños están contruidos con delgadas torres de mástil sostenidas por cables tensores. La ventaja es el ahorro de peso y, por lo tanto, de costo. Las desventajas son el difícil acceso a las zonas alrededor de la torre, lo que las hace menos apropiadas para zonas agrícolas. . Las torres con tensores son las menos costosas y por lo mismo la más utilizadas.

b) Torres de celosía.- Son fabricadas utilizando perfiles de acero soldados. La ventaja básica de las torres de celosía es su costo, puesto que para su fabricación se requiere sólo la mitad de material que en una torre tubular. Pero estas si se ensamblan con tornillos su mantenimiento es alto ya que cada cierto tiempo se tienen que apretar estos tornillos para que no causen problemas de vibración en la estructura del mini aerogenerador.

c) Torres tubulares de acero.- En el caso de los grandes aerogeneradores generalmente se utilizan torres tubulares de acero.

d) Torres híbridas.- Algunas torres están hechas con diferentes combinaciones de las ya mencionadas.

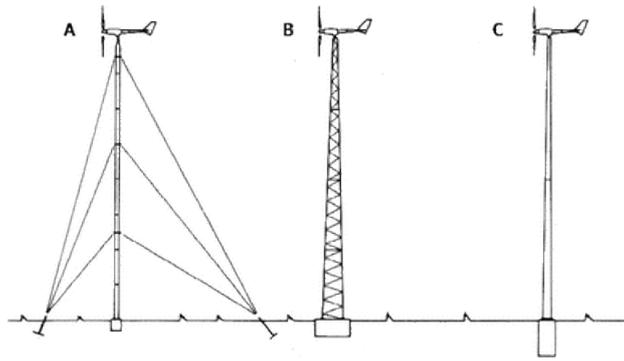


Imagen 4.4 Torre: a) mástil tensado, b) Celosía, c) Tubular, d) Híbrida.

Fuente: <http://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/images/2001156fig1.gif>

4.9 Sistemas de Almacenamiento

En sistemas que no se encuentran conectados a red generalmente se dispone de algún sistema de almacenamiento con el objeto de disponer de la energía en periodos de viento flojo o de calma.

- **Baterías:** Actualmente, es el sistema más utilizado para almacenar la electricidad generada por el mini aerogenerador.

4.10 Alternador y Regulador de Tensión

El alternador es un generador de corriente eléctrica que transforma la energía mecánica que recibe en su eje en energía eléctrica que sirve además de cargar la batería, para proporcionar corriente eléctrica. En bajas revoluciones necesita casi 1000- 1500 r.p.m. para empezar a generar energía.



Imagen 4.5 Elementos principales de un Alternador.

Fuente: <http://electricistas.webcindario.com/Curso%20de%20Electricidad%20del%20Automovil%20-%20Alternador.pdf>

4.10.1 Las características esenciales del Alternador:

- Entrega de potencia incluso en ralentí.
- Los diodos además de convertir la corriente alterna en corriente continua, evitan que la tensión de la batería se descargue a través del alternador cuando el motor está parado o el alternador no genera corriente (avería).
- Mayor aprovechamiento eléctrico (es decir, a igualdad de potencia, los alternadores son más ligeros que las dinamos).
- Larga duración
- Pueden funcionar en ambos sentidos de giro sin requerir medidas especiales, siempre que la forma del ventilador que lo refrigera, sea adecuado al sentido de giro correspondiente.

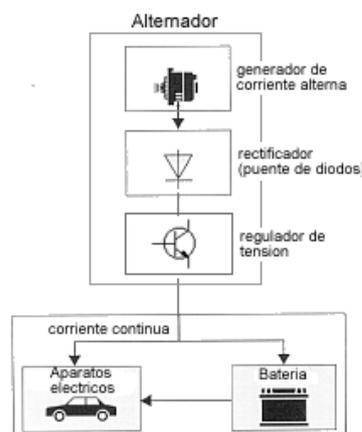


Imagen 4.6 Diagrama de Conexión.

Fuente:<http://electricistas.webcindario.com/Curso%20de%20Electricidad%20del%20Automovil%20-%20Alternador.pdf>

Esta disposición de los elementos del alternador proporciona grandes ventajas tal como poder girar a grandes revoluciones sin deterioro de sus partes móviles.

4.10.2 Alternador de polos intercalados con Anillos Colectores

La construcción de estos alternadores (polos intercalados con anillos rozantes) hace del mismo un conjunto compacto con características de potencias favorables y reducido peso.

Características:

La relación longitud/diámetro elegida permite conseguir máxima potencia

con escasa demanda de material. De ello se deriva la forma achatada típica de este alternador, de gran diámetro y poca longitud. Esta forma permite además una buena disipación de calor. La denominación de "alternador de polos intercalados" proviene de la forma de los polos magnéticos. El árbol del rotor lleva las dos mitades de rueda polar con polaridad opuesta. Cada mitad va provista de polos en forma de garras engarzados entre sí formando alternativamente los polos norte y sur.

Por esta razón, estos alternadores se construyen, según el margen de potencia, con 12 ó 16 polos.

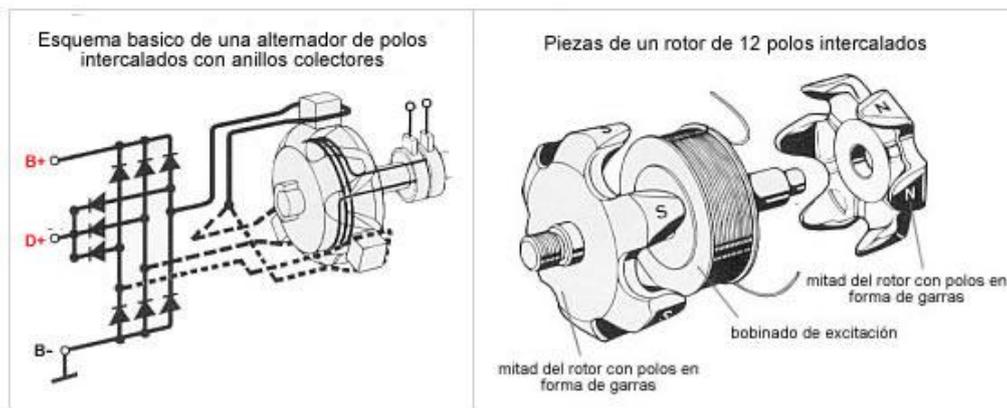


Imagen 4.7 Esquema básico y Piezas de un rotor de 12 polos.

Fuente: <http://electricistas.webcindario.com/Curso%20de%20Electricidad%20del%20Automovil%20-%20Alternador.pdf>

El alternador utilizado en automoción está constituido por los siguientes elementos:

Un conjunto inductor que forman el rotor o parte móvil del alternador.

- Un conjunto inducido que forman el estator o parte fija del alternador.
- El puente rectificador de diodos.
- Carcasas, ventilador y demás elementos complementarios de la maquina.

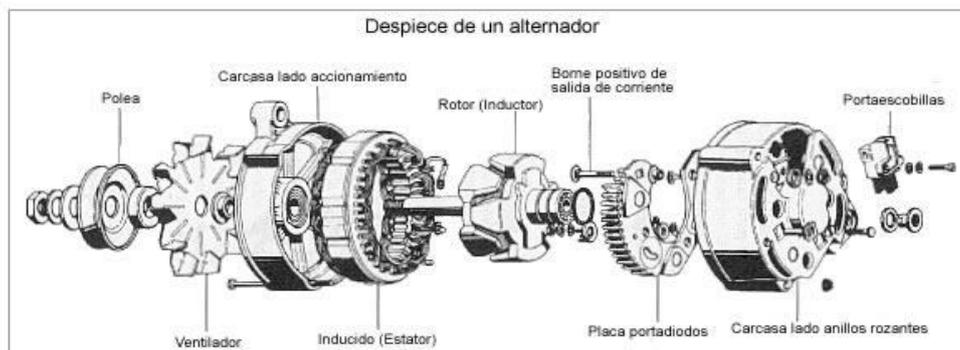


Imagen 4.8 Despiece de un Alternador.

Fuente: <http://electricistas.webcindario.com/Curso%20de%20Electricidad%20del%20Automovil%20-%20Alternador.pdf>

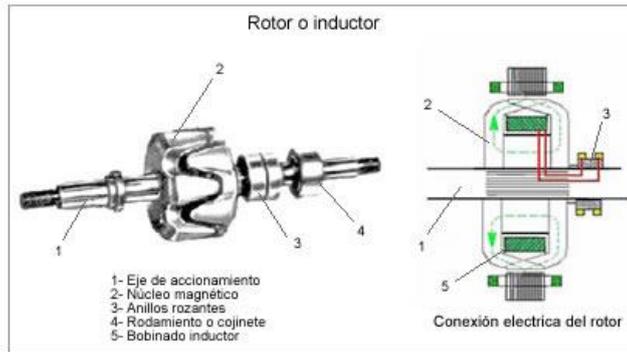


Imagen 4.9 Rotor o inductor.

Fuente: <http://electricistas.webcindario.com/Curso%20de%20Electricidad%20del%20Automovil%20-%20Alternador.pdf>



Imagen 4.10 Estator o inducido.

Fuente: <http://electricistas.webcindario.com/Curso%20de%20Electricidad%20del%20Automovil%20-%20Alternador.pdf>

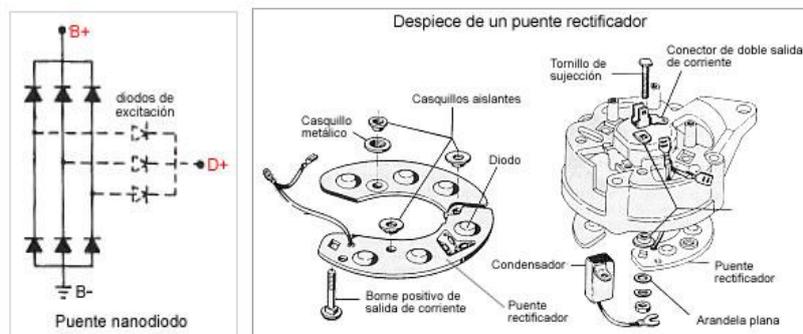


Imagen 4.11 Despiece de un puente rectificador.

Fuente: <http://electricistas.webcindario.com/Curso%20de%20Electricidad%20del%20Automovil%20-%20Alternador.pdf>

4.10.3 Ventilador de un solo Flujo

Los alternadores que montan un ventilador en el lado de la carcasa de accionamiento se refrigeran mediante una ventilación interior. El aire entra por el lado de la carcasa de anillos rozantes, refrigerando el puente de diodos, el rotor, el estator, para después salir por la carcasa del lado de accionamiento. Por lo tanto el aire refrigerante es aspirado por el ventilador a través del alternador.



Imagen 4.12 Ventilación interior de un solo flujo para un alternador monobloc.

Fuente: <http://electricistas.webcindario.com/Curso%20de%20Electricidad%20del%20Automovil%20-%20Alternador.pdf>

4.10.4 Regulador de Tensión

La función del regulador de tensión es mantener constante la tensión del alternador, y con ella la del sistema eléctrico. La tensión del alternador depende en gran medida de la velocidad de giro y de la carga a que este sometido.

La tensión generada en el alternador es tanto más alta cuantos mayores son su velocidad de giro y la corriente de excitación.

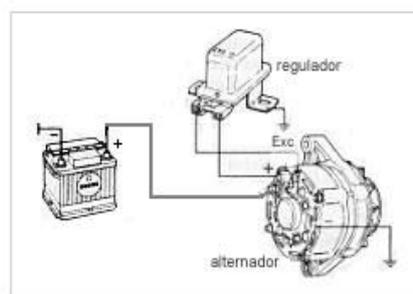


Imagen 4.13 Diagrama de conexión del alternador, regulador y batería.

Fuente: <http://electricistas.webcindario.com/Curso%20de%20Electricidad%20del%20Automovil%20-%20Alternador.pdf>

Los sistemas eléctricos de los automóviles con 12 V. de tensión de batería se regulan dentro de un margen de tolerancia de 14 V. Si la tensión sobrepasa el valor teórico superior prescrito, dentro del marco de la tolerancia de regulación, el regulador interrumpe la corriente de excitación. La excitación disminuye, es decir, desciende la tensión que suministra el alternador.

4.10.5 Reguladores en Técnica Híbrida

Este regulador contiene, en un encapsulado hermético, una placa cerámica con resistencias de protección en técnica de capa gruesa y un circuito conmutador integrado, que reúne todas las funciones de control y regulación.

El regulador está montado sobre una porta escobillas especialmente diseñado y va fijado directamente al alternador, sin ningún cable. Sus propiedades características son: ejecución compacta, reducido peso, pocos componentes y puntos de unión y gran fiabilidad de funcionamiento. El regulador con técnica híbrida con diodos normales se emplea principalmente en alternadores "monobloc" de la marca Bosch.

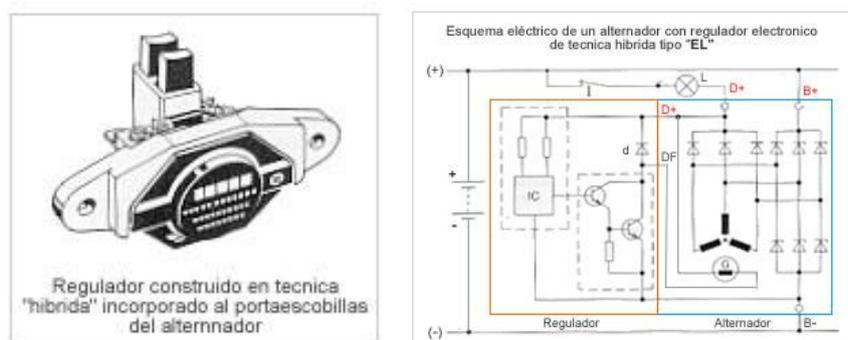


Imagen 4.14 Regulador de técnica híbrida (EL) y esquema eléctrico.

Fuente: <http://electricistas.webcindario.com/Curso%20de%20Electricidad%20del%20Automovil%20-%20Alternador.pdf>

4.11 Construcción del Mini Aerogenerador

Para la construcción del mini aerogenerador se describirán los pasos del mismo, que se enumeraran de forma consecutiva, para que cualquier persona si lo desea construir lo realice desde sus principios hasta su terminación del Mini Aerogenerador.

4.12 Rotor

El rotor del Mini Aerogenerador será fabricado en "MDF" ya que nuestro tema abarca aspectos medio ambientales y por lo tanto no se usara madera. Y por ello se eligió el MDF que es ecológico como mejor opción, por sus ventajas y precio en el mercado.

1. Conseguir el MDF (sin cubierta blanca) en la Maderería más cercana con las siguientes medidas: 2m de largo, por 15 cm de ancho y 18mm de Grosor.

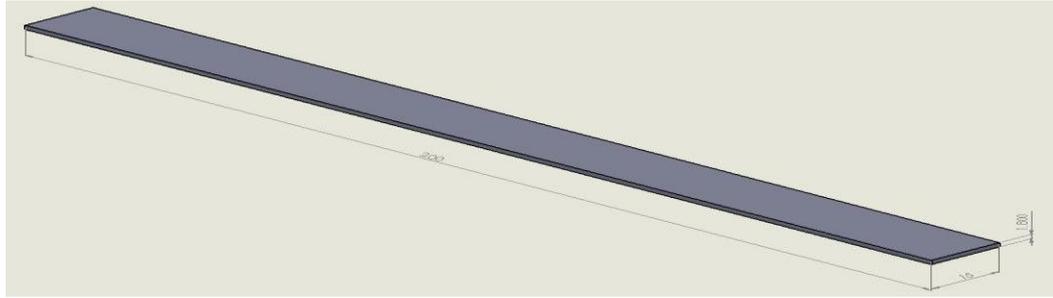


Imagen 4.15 Medidas iniciales del MDF.

2. Pedir a la persona que lo corte que utilice su guía en la sierra de mesa (para no tener problemas de medición) para el rotor se necesitan dos tablas de MDF, para tener el ancho de 3.6cm.
3. Una vez obtenido las tablas de MDF se necesitan pegar una con otra, con ayuda de Resistol blanco, prensas en "C", sargentos, y apoyos en donde se va a colocar las tablas.



Imagen 4.16 Tablas de MDF, con prensa" y sargento.

4. El Resistol será aplicado en la superficie de las dos tablas de forma uniforme en todas direcciones (sin dejar ningún espacio sin cubrir).
5. Se encimara las tablas una contra otra y se deslizaran para no dejar burbujas de aire dentro de las tablas, con la ayuda de la prensa en "C" y el sargento aprisionaran una contra la otra (en la cara donde se coloco el Resistol) y el sargento impedirá el movimiento lateral y longitudinal de este, con la prensa en "C" se comprimirán las tablas para desalojar el excedente de Resistol por los lados. Colocando la prensa en las diferentes secciones de la tabla (en las puntas y en medio).



Imagen 4.17 Pegando las tablas con ayuda de la prensa en "C" y el sargento.

6. Retirar el excedente de Resistol de los lados de la tabla con el dedo para no dejar residuos que después sean innecesarios o molestos para trabajar.
7. Se dejara secar la tabla aproximadamente 30 min, en un lugar donde el sol no de forma directa (preferible en la sombra).
8. Una vez seco el Resistol, se retiran las presas en "C" y el sargento, para empezar el trazado del centro de masa de dicha tabla.
9. Se trazara en la tabla líneas transversales de punta a contra punta, esto para encontrar en centro de la tabla. Y luego se medirá un metro de un lado de la sección longitudinal para corroborar el centro donde se encontraron las líneas anteriores. ahí es donde tenemos nuestro centro de la tabla (trazadas con lápiz o portaminas, escuadra fija, regleta).

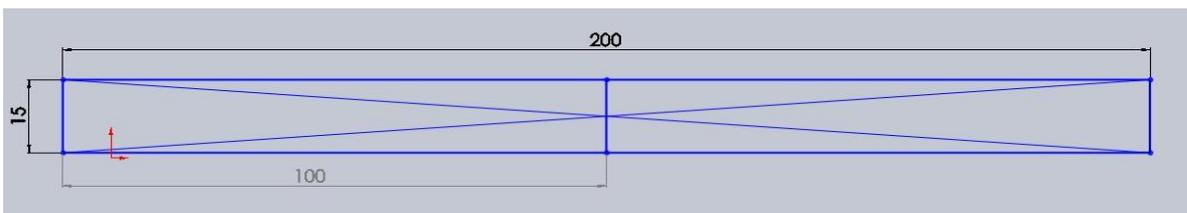


Imagen 4.18 Trazado inicial en la tabla.

10. Después se trazaran los círculos centrales ($d= 15\text{cm}$) y tangenciales ($r=9.2\text{cm}$) del rotor, esto para formar la parte central del rotor (con un compas común i corriente y escalimetro).
11. Después se trazaran las líneas que formaran el contorno del rotor, estas saliendo del término de los círculos tangenciales, a sus contras del otro extremo, y se traza una línea longitudinal (mitad) de apoyo

desde la punta de la tabla hacia los extremos para marcar una de forma perpendicular de 8cm, en cada lado de la tabla.

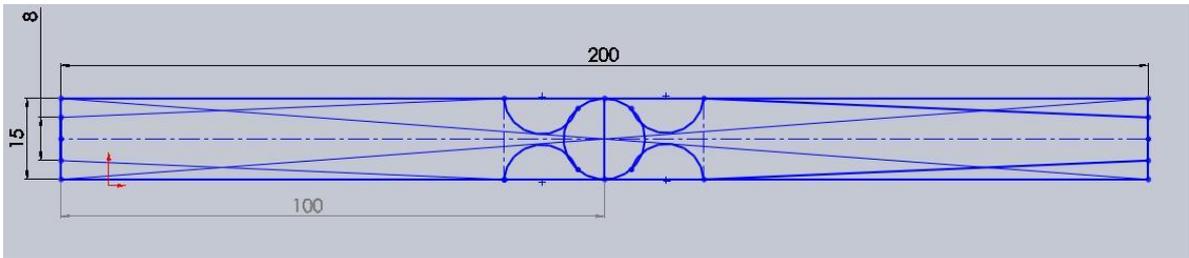


Imagen 4.19 Trazado secundario en la tabla.

Retirando las líneas de apoyo (borrando de la tabla), a si es como se debe de observar:

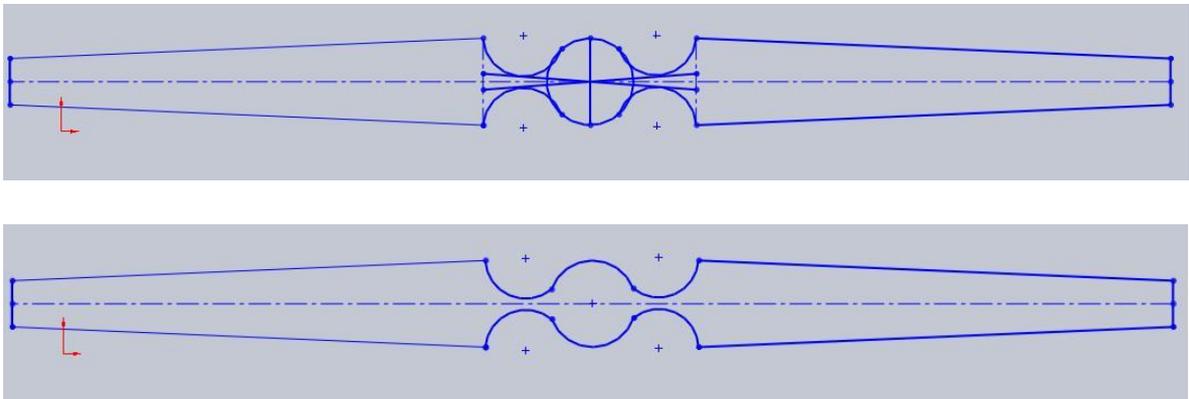


Imagen 4.20 Trazados terciario en la tabla.



Imagen 4.21 Trazado realizado en la tabla de MDF.

Para lograr la reducción del tamaño del rotor de 15cm a 8 cm, se siguió el estudio de construcción de alabes: que es reducir la medida de los extremos con forme ala longitud (los rotores no quedan en punta), obteniendo una proporción de: 5cmX 2mm, esto es 5cm en forma longitudinal, por una reducción de 2mm en la altura de forma progresiva.

12. Con la ayuda de una sierra cinta para madera y una caladora con dientes finos, se corta la periferia de la tabla para obtener el rotor deseado, teniendo cuidado en los círculos del centro ya que esta es el área de más detalle para cortar con la caladora.



Imagen 4.22 Corte con caladora de la tabla y resultado de esta.

13. Hecho esto se procede a lijar a mano, con una liga de madera del 60 para retirar las imperfecciones que allá dejado la colabora de mano, y los extremos para que sea más fácil trazar.



Imagen 4.23 Rotor y pala, terminado de cortar.

14. En los extremos del rotor se procede a trazar el perfil alar seleccionado (NACA 4415), con la ayuda de un transportador, escalímetro, y lápiz.
15. Este se debe de empezar trazando una línea base de 15° , para empezar a dibujar el perfil (tomado a escala, de forma cuadrículada, como en la imagen).

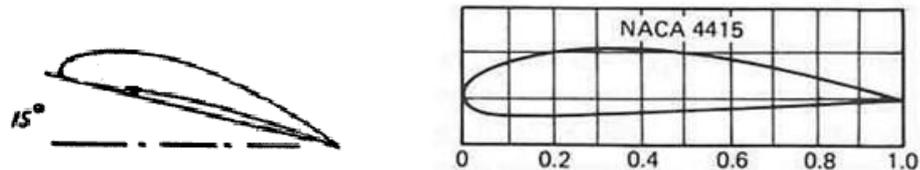


Imagen 4.24 Línea base de 15° y perfil NACA 4415.

Fuente: <http://www.infolaser.net/franpr/tecnica/aerodinamica/Image14.gif>

El ángulo al que se traza el perfil alar no debe de pasar los 17° grados, ya que se puede perder la sustentación (para mini aerogenerador), el perfil NACA4415 es seleccionado para este mini aerogenerador por el alto porcentaje de sustentación y porque es uno de los más utilizados en aerogeneradores de pequeña potencia.

16. La cuadrilla se tomara de la medida obtenida de 8cm de largo, por 3.6 de alto que se tiene del rotor, de ahí cada separación vertical será de: 0.8mm y horizontal será de: 1.2cm.

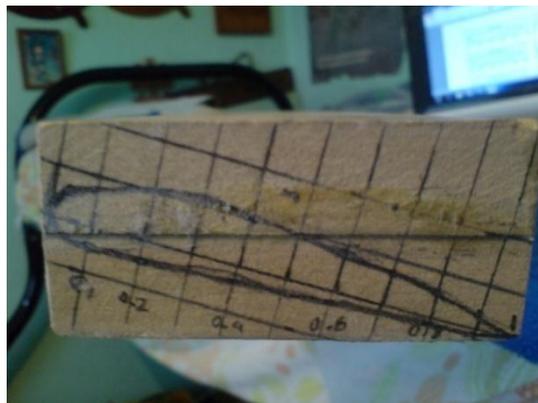


Imagen 4.25 Perfil trazado en extremo del Rotor.

17. El trazado se proyecta del mismo modo en el otro extremo del rotor pero en sentido contrario, para que el aerogenerador gire en sentido de las manecillas del reloj.
18. Terminado el trazado del perfil alar en los extremos, se procede a cepillar (cepillo num.5), para retirar el excedente de material en la parte superior e inferior de las palas del rotor, esto realizándolo en

una mesa de trabajo, o lugar amplio, con ayuda de prensas en "C" o de barra, para poder sujetarla.

19. Cepillamos la parte superior de una de las palas del rotor en forma descendente (ya que se tiene que lograr el perfil de la misma forma en la sección de 15cm), teniendo cuidado de no golpear el cepillo con nada en el transcurso de este en la pala.



Imagen 4.26 En empezando el desbastando la parte superior de la pala.

20. Se prosigue con este desbaste hasta reducir la pala hasta el perfil trazado en los extremos, esto de forma detallada y cuidadosa para no sobrepasar el trazado.



Imagen 4.27 Desbastando la parte superior de la pala.

21. Esto continua hasta conseguir el perfil deseado en la parte superior y de igual forma para la parte inferior, terminando esto se lija el rotor con una lija del 100, para mejorar el acabado y dar un mejor aspecto al rotor. Lo mismo prosigue a realizar con la otra pala del rotor.



Imagen 4.28 Desbastando hasta el contorno trazado y lijado de la pala.

22. Se procede a rellenar los espacios y fisuras generados en los extremos, y en las palas del rotor, con Resistol blanco, esto para asegurar su fijación de las tablas.



Imagen 4.29 Rellenando espacios del rotor con Resistol.

23. Para tener una forma de comprobar la medida del perfil alar en los extremos del rotor de 8cm y los internos de 15cm se construirán unas plantillas en las cuales nos basaremos, para tener un control de las medidas y que funcionen de parámetro para no pasarnos de las medidas. Estas realizadas de la misma manera en que se trazaron los perfiles en los extremos de la tabla.

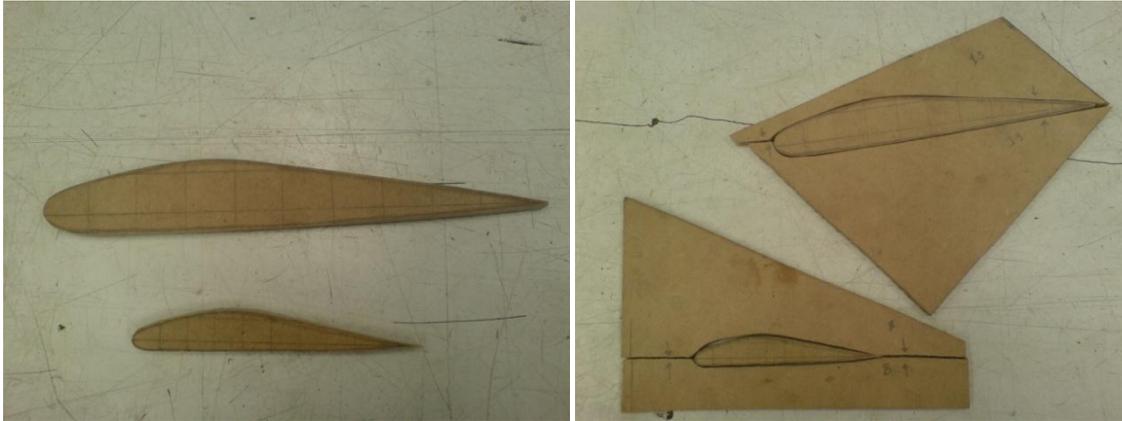


Imagen 4.30 Plantillas internas y externas.

24. Una vez obtenidas las plantillas se procede a continuar con el desbaste de las palas del rotor, con ayuda de un cepillo tipo mariposa (escochebere) y escala de 1m. colocando las plantillas encima de la pala para saber en qué parte de la pala se tiene que retirar mayor material, y en cual ya no.

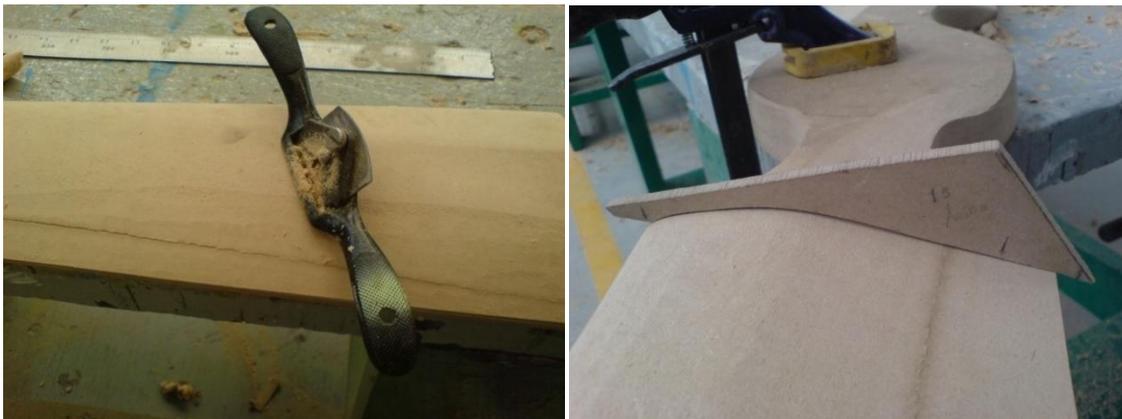


Imagen 4.31 Desbastando con el cepillo tipo mariposa (escochebere) y colocando plantilla.

25. Cuando se termine de desbastar las dos partes de las plantillas (extremos y internos), se verifica si el perfil esta en toda la pala del rotor, y con ayuda de la escala de 1m, se comprueba esto, y se marcara con el lápiz en las zonas donde se tenga un excedente de material, para ser retirado, y este procedimiento se repetirá cada vez que se valla desplazando la escala de forma ascendente de la pala del rotor, hasta tener el mayor contacto de la escala con la pala del rotor.



Imagen 4.32 Verificando que la superficie este plana.

26. Lo mismo que en los pasos 24 y 25 se repetirán en la parte inferior de la pala del rotor, y lo mismo en la contra pala del rotor, para que se logre un balance del rotor.



Imagen 4.33 Colocando las platillas, para verificar el perfil alar.

27. Una vez terminado los dos lados del rotor se lijan (lija del 60), para dar un mejor acabado en el MDF.

28. Se comprueba el balanceo por primera vez, ya que de este depende que no sufra fluctuaciones de vibraciones y sonido el mini aerogenerador, por ello hago hincapié en el balanceo varias ocasiones. Este se realiza colocándolo en una sección plana (tornillo del trompo) de aproximadamente $\frac{1}{2}$ " de diámetro, para saber hacia qué lado se inclina más el rotor.



Imagen 4.34 Realizando primera prueba de balanceo.

29. En la parte donde se incline un poco hay que lijar con lija del 100 en forma pareja de la pala para lograr el balanceo, hecho esto se procede a barrenar el centro marcado desde el principio con una broca de $\frac{1}{2}$ " , para hacer el segundo balanceo. (si no se logra hay que seguir lijando de un lado de la pala hasta lograrlo).



Imagen 4.35 Realizando segunda prueba de balanceo.

30. Terminado ello se da un acabado con lija fina del 100 en toda la superficie superior e inferior del rotor, esto para prepararlo para el barnizado y se vuelve a comprobar el balanceo, esta vez con la ayuda de un contra punto de torno.



Imagen 4.36 Realizando tercera prueba de balanceo.

31. Con un trapo o franela se limpia todo el rotor para quitarle el polvo de la pulida con la lija fina del 100, y con ello evitamos que se presenten problemas a la hora del entintado.
32. Al rotor se le deben de aplicar tres aditamentos especiales, ya que este se encontrara en el exterior, que son los siguientes: tinte de aceite (el color que más le guste), sellador para MDF, y barniz de poliuretano para exteriores.
33. La aplicación de estos para un mejor acabado del rotor, debe de ser con pistola de gravedad y compresora.



Imagen 4.37 Pistola de gravedad, con compresora.

34. La primera en aplicar, ya menciona es el tinte en aceite, en este caso marca "sayer lack", color maple (TS-6116), con 250 ml, esta se debe dejar secar 15 min. Entre capa y capa. Aplicamos 3 capas a cada cara (se recomienda pintar en un lugar ventilado y con gran espacio para maniobrar).



Imagen 4.38 Aplicado tinta en aceite al Rotor.

35. La segunda en aplicar es el sellador para MDF, la cual es marca "comex", transparente, con 100ml, este se aplica con la regla de tres a una (los 100ml de sellador por 300ml de tiner), este permite que el tinte no se corra y que se cierren los poros del MDF, y se le aplico una capa a da cara, de forma generosa, dejando secar 15 min entre cada capa.

36. La ultima en aplicar es el barniz de poliuretano 3000, para exteriores Marca "Poly Form", transparente brillante, con 1 litro, este se debe dejar secar 30 min. Entre capa y capa, posee la ventaja que ya cuenta con el catalizador desde fabrica (ambos entre mezclados) y agiliza su aplicación, nos permite que el MDF se encuentre en exteriores y incluso expuesta a la lluvia sin que le pase nada al rotor. Se aplicaron 3 capas a cada cara del rotor, para asegurar su eficiencia.



Imagen 4.39 Aplicando barniz de poliuretano al Rotor.

37. Una vez seco las pacas de barniz de poliuretano, se le da una mano a todo el rotor con una lija de metal del 1200 para asentar el barniz, y mejorar la superficie (volviéndola más tersa).

4.13 Alternador

El alternador de automóvil se consiguió en un tianguis, al cual se le dio una revisión visual y física del mismo (revisando los baleros, que giraran de forma sencilla y sin que el rotor fuera difícil de mover, que la carcasa no estuviera rota), verificando lo anterior me dispuse a comprarlo a un precio justo, regatear si es posible.

1. Limpiar el alternador profundamente, ya que uno no sabe en qué situaciones estuvo trabajando. Principalmente se le retira todo el aceite impregnado en la carcasa.
2. Primero se le aplica afloja todo a la polea principal del rotor, para verificar el estado del rotor, estator, carbonillos, ventilador, plato de diodos, regulador etc. Y con ello revisar el estado en que se encuentran.



Imagen 4.40 Desmontando el alternador.

3. La primera pieza a limpiar es el rotor, este se limpiara con una carda pequeña de bronce, todo el cuerpo (teniendo cuidado de no desprender material extra del rotor).



Imagen 4.41 Limpiando el rotor con una carda.

4. La siguiente pieza a limpiar es el estator y plato de diodos, con un trapo se le retira el polvo y con la misma carda una limpieza en la parte interna del estator, y el plato de diodos.



Imagen 4.42 Limpiando plato de diodos y carcasa.

5. El siguiente es el regulador, a este se le verifican el estado de los carboncillos, si no se encuentran en mal estado, o rotos. Y de la misma manera se revisan los cables que salen del estator, al plato de diodos.
6. Se retira en balero de la carcasa delantera, para su lavado con gasolina y de las ambas carcasas, limpiando de forma vigorosa toda la parte interna para retirar la grasa y aceite impregnado en los rincones de las carcasas.
7. Se comprueba la continuidad con un multimetro del plato de diodos, para verificar la funcionalidad el alternador.
8. Se lavaran los tornillos, turecas etc. Con gasolina para limpiarlos de grasa, aceite y se dejaran secar estos.

9. Una vez limpios todos los componentes del alternador, se procede a su ensamblado, teniendo cuidado en embonar bien los componentes (carcasas con estator, y su vez el rotor), para ello evitar que el rotor gire de forma incorrecta o que dificulte el movimiento de este, o que choque con el estator.

El tipo de alternador se determino debido a la cuerda que presenta este en el rotor ($d=14\text{mm}$, con paso de 1.5), dando como resultado un alternador marca Bosch E3 versión Monoblock, con regulador hibrido (este descrito ya anteriormente).

4.14 Buje (sujetador del rotor, con el alternador)

Para la manufactura del buje se compro una barra de 2"=5.08cm x15 cm de largo, de aluminio, para ello se diseño la pieza, llamada "Buje", que no es más que el sujetador del rotor, con el alternador, quedando de la siguiente manera (visualización echa en "Solid Works"):

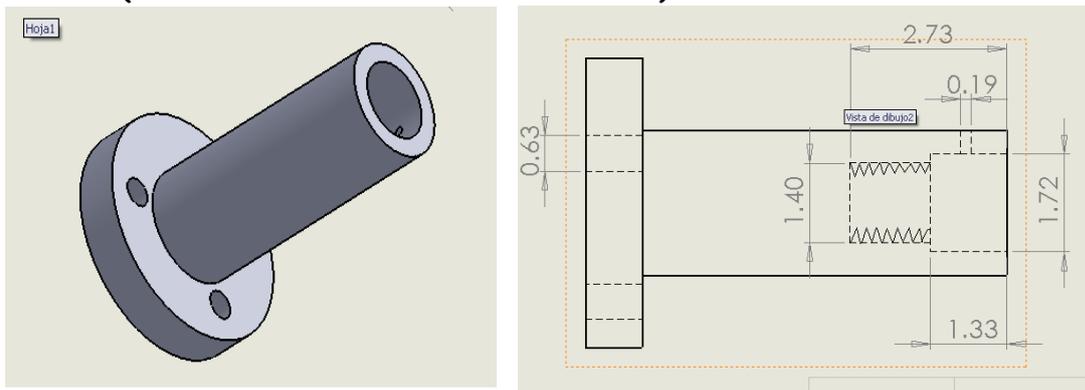


Imagen 4.43 Visualización echa en "Solid Works", con medidas del buje.

1. El primer paso es llevar la barra de aluminio al torno paralelo, donde se realizaran operaciones de careado, cilindrado, barrenado, moleteado y tronzado.
2. Colocando la barra en el torno, se empieza con el refrenado, hasta eliminar imperfecciones (dejándola de forma plana).



Imagen 4.44 Refrentando la barra de aluminio.

3. Se barrena con una broca de centros del #3, para dejarla lista para colocar el contrapunto (aflojar el shock y recorrer la barrar a la distancia necesario "área de trabajo" y apretar de nuevo al shock), listo esto se empieza a cilindrar la barra para obtener las medidas deseadas (7.4cm de largo x 1"=2.54cm de grosor).

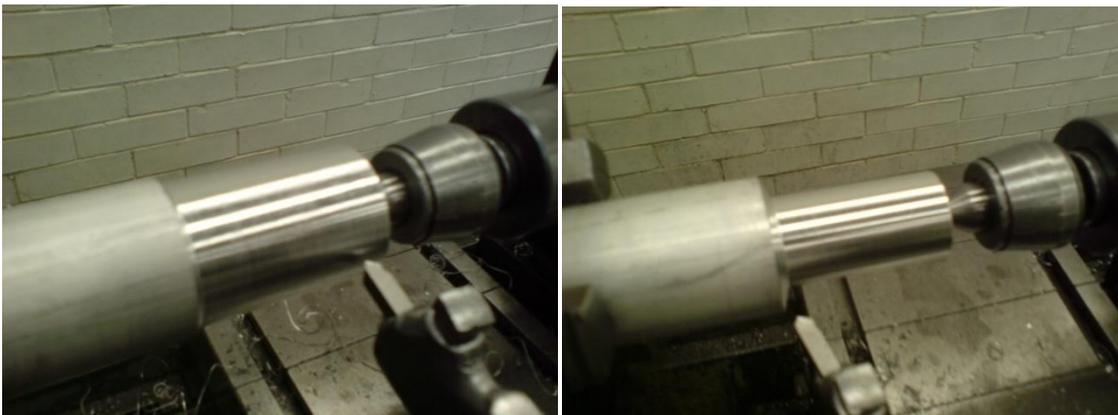


Imagen 4.45 Cilindrando la barra de aluminio.

4. Una vez obtenida las medidas deseadas, se refrenta la pieza de afuera hacia adentro sin tocar la medida de 1", esto lográndose moviendo el buril en la forma más adecuada, para lograr un ángulo recto.
5. Se prosigue a moletear una sección de 2cm en el diámetro de 2"=5.08cm, para ello se pone paralelo el porta herramienta con el moleteador al shock, y se coloca en la barra, donde se le aplicara una profundidad moderada para marcar el moleteado, también para ello se bajan las revoluciones a mínimas, para un mejor acabado y con una buena lubricación (aceite de corte).

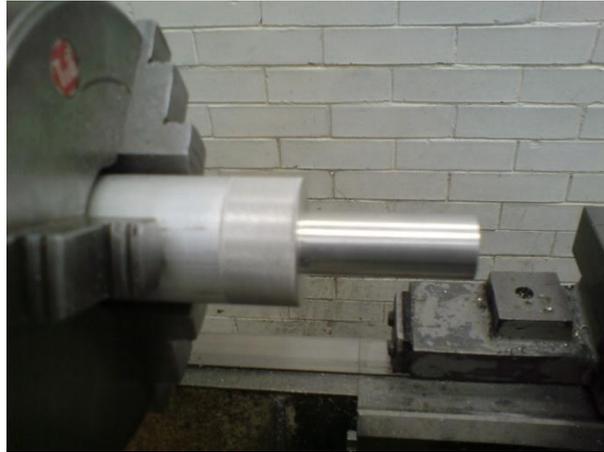


Imagen 4.46 Moleteada la barra de aluminio en el diámetro externo 2".

6. Después se cambia el contra punto para empezar el barrenado de la pieza, empezando el barrenado de forma gradual con 1/4", 3/8", 15/32" y 43/64". Pero primero se realizara el barrenado con profundidad de 2.73cm siendo este el que albergar la cuerda

(para el cálculo de la broca correspondiente se opto por su homologado de 18 hilos, este obtenido del juil 18 hilos= 0.072micras(paso), se multiplica el diámetro(mm) x su conversión en micras que es 0.0394 (14x0.0394=0.546micras), teniendo esto se restan (0.546-0.072=0.474micras), con este valor se busca en la tabla de brocas y se obtiene la medida de 15/32", y el otro diámetro es sacado de forma directa ya que mide 1.72 cm = 43/64".

7. Una vez terminado el primer barrenado, el que albergara la cuerda, se prosigue con el de 1.72cm x1.33cm de profundidad, estos barrenados realizándolos de forma detallada, para no pasarse de las medidas.
8. Para la cuerda interna se compro un tornillo de 14mm con paso de 1.5, el cual nos servirá como machuelo, este modificándolo, para realizar esta función.
9. Lo primero que se realiza con el tornillo es hacer tres cortes divididos 120° en la circunferencia, con ayuda de la tronzadora de metales, después con el esmeril de pedestal se rebajan los costados en forma de triangulo, para formar el saca viruta, teniendo cuidado de no dañar la sección donde se dejo el filo de corte, una vez más con el esmeril se desbasta la parte interna del corte realizado con al tronzadora, para que tenga una menor área de contacto el tornillo, siguiendo el patrón en triangulo.



Imagen 4.47 Tornillo, convertido en machuelo.

10. Una vez terminado lo anterior se coloca el tornillo en el shock del torno para ser barrenado su centro con broca del #2. Esto para después ser colocada a presión con el contra punto. Se le realiza una conicidad en la punta del tornillo, con ayuda del carro transversal a 7° , esto para que sea más fácil entrar en el barrenado.
11. Colocamos de nuevo la pieza en el shock y montamos el tornillo con el contra punto en el otro extremo y los presentamos (en palmado), esta operación no se realizara con ninguna velocidad en el torno, esto para que sea fácil mover el shock, solo con el freno y con la ayuda de un perico, se hará girar el tornillo, (tener una buena lubricación).
12. Lubricamos la parte interna de la barra y se procede a meter presión con el contra punto, que a su vez tiene el tornillo (el cual va a estar dando vueltas con el perico, para generar la cuerda), teniendo en cuenta que cada 5 vueltas, dadas con el tornillo, se regresaran 2 vueltas, esto para romper la viruta que se encuentra en el interior.
13. Una vez llegado al tope de la barra se retirara la presión del contra punto y se aflojara con el perico el tornillo. Una vez terminado esto se esmerila la sección a la cual se le dio la conicidad, con el motivo de cortar de mejor forma el material, dentro de la cavidad de la barra.
14. Se coloca el tornillo a mano, en la sección donde se realizo la cuerda, hasta donde lo permita, y con ayuda del perico se hace entraren la

cavidad el tornillo hasta topar con pared. (con ello mejoramos el acabado de la cuerda que se realizo).

15. Terminado lo anterior se procede a tronzar las piezas de la barra de aluminio, dejando una separación entre corte del trozado y el otro, esto colocando el tronzador paralelo al shock, como se realizo con el moleteador. Con ello obtenemos dos piezas (buje y su contra), estas con un 1cm de ancho en sus cabezas.

16. La primera pieza a barrenar será la contra del buje, ya que esta necesita un barreno de 1" para que entre en el buje, por lo cual prosigue en colocar en un taladro de mesa, empezando los barrenos con una broca de centros del #2, brocas de 1/4", 3/8", 1/2" y 1".



Imagen 4.48 Barrenado en la contra del buje.

17. El rotor necesitara la misma medida de 1", pero este ya posee un barreno inicial de 1/2", por lo cual en este se coloca primero la broca de 1/2", para encontrar su centro y luego se cambia a la broca de 1".



Imagen 4.49 Barrenando el rotor en su centro.

18. Realizado esto se procede a ensamblar el buje con su contra y se comprueba que deslice de forma sencilla, en este.



Imagen 4.50 Ensamblando el buje, con su contra, y el rotor.

19. En la parte frontal del buje se trazara con ayuda de un compas plano, rayador, y escuadra universal, en la cual se trazaran tres líneas separadas 120° una de otra, y la cuales serán la guías para los barrenos. Como se indica en la imagen:

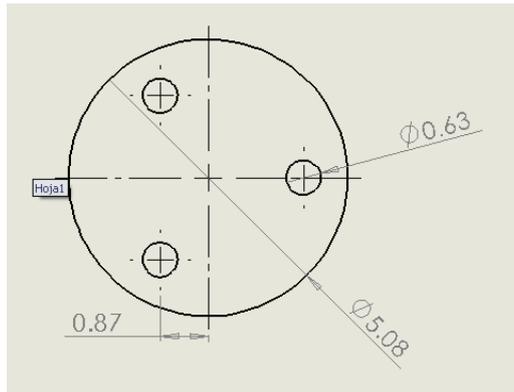


Imagen 4.51 Visualización echa en "Solid Work", con medidas de la parte lateral izquierda del buje.

20. Realizado el trazado se procede a hacer barrenos pasados, en las dos partes (bujes y contra), esto montándose uno sobre el otro y sujetados con una prensa en "C" chica, para que no choque con el broquero del taladro.
21. Ambos se colocan en las mordazas del taladro, con ayuda de bloque en "V", y se empieza con broca de centros del #2, terminando sin mover el la pieza se cambia a la broca de $\frac{1}{4}$ ", la cual realizara un barreno pasado, y lo misma acción se repite en los dos siguientes.
22. Una vez terminado los barrenos pasados de la pieza se retira la prensa "C" chica, de las piezas y se aflojan las mordazas para retirar los bloques en "V". dando como resultado lo mostrado en la imagen:



Imagen 4.52 Ensamblando el buje, contra y rotor, para marcar orificios en el rotor.

23. Con el buje colocado en su lugar se prosigue a marcar los orificios en el rotor, para después ser barrenador en el taladro de mesa. (posterior mente para la colocación de los tornillos.
24. Terminado lo anterior se coloca el buje, en las mordazas, de nuevo con ayuda de los bloque en "V", de forma horizontal, para el barreno que albergara al prisionero (datos de broca, son obtenidos de mismo machuelo), utilizando broca de $7/32"$, con un prisionero de 28 hilos, este barreno solo atraviesa el grosor de la pared, no es pasado.
25. Una vez hecho el barreno se coloca, se coloca el machuelo en el porta machuelos, y se dispone a realizar la cuerda de este, teniendo en cuenta la lubricación.
26. Terminado ello se retira el buje de las mordazas, y se limpia del aceite y rebabas.
27. Se compra en una tornillería el prisionero de $\frac{1}{4}" \times 28$ hilos corto y tres tornillos de $\frac{1}{4}"$ con cabeza Allen x3" de largo, con su respectiva rondanas y tuercas.



Imagen 4.53 Bujes terminado, con sus respectivos tornillos y prisionero.

28. Se comprueba que el buje entre en la cuerda del alternador y se prosigue a retirar para ensamblar el buje y su contra en el rotor, esto con ayuda de una llave española $5/16"$ y una llave Allen de $7/32"$, teniendo cuidado que todo quede bien alineado.



Imagen 4.54 Colocando los tornillos y tuercas, que sujetaran al rotor.



Imagen 4.55 Terminado de colocar los tornillos y tuercas en el rotor.

29. Una vez ensamblado se comprueba de nuevo que el buje entre en la cuerda del alternador.

4.15 Base del Alternador y Dispositivo de Orientación

El material que se utilizara para la base será perfil cuadrado de $\frac{1}{2}$ " x 1m y solera de 1" x 60cm (retazos de herrería), para el dispositivo de orientación se utilizara una horquilla de bicicleta, sacada de la chatarra, el juego de tazas de la horquilla y un tubo de retacería.

1. Se debe de medir el alternado, su largo, ancho y alto, para de ello realizar su base, con ello se obtuvieron estas medidas: largo 16cm, ancho 18cm, alto 17cm.
2. Después se debe de medir y cortar el perfil cuadrado, las cuales serán las partes de la base.
3. Una vez hecho esto se soldaran con el equipo de soldadura de arco eléctrico o MIG, y una escuadra para verificar que queden a 90°.utilizando electrodos de 1/8, si es por arco eléctrico.



Imagen 4.56 Base del alternador.

4. Terminado de soldar se esmerilan los excedentes de soldadura, con ayuda de un mini esmeril, usando siempre el equipo de protección que son guafas de seguridad y guantes.



Imagen 4.57 Esmerilando la base del alternador.

5. Para que el alternador no se desplazase y para que no presente movimientos laterales se soldaran pedazos de ángulo, para que formen una base en la que se evite esto y tenga una mejor sujeción a la base.
6. Se empieza soldando los ángulos delantero, uno más alto que el otro, buscando los orificios del alternador (teniendo cuidado que no choquen con el movimiento del ventilador del alternador).

7. Después se soldaran los pedazos de ángulo en la base, para evitar el movimiento y para que tenga una mejor sujeción el alternador. Esto lográndose colocando el alternador en la base, marcando en la base, colocan los pedazos de ángulo y quitándolos y retirando el alternador.



Imagen 4.58 Soldando retazos de ángulo en la base del alternador.

8. Los pedazos de ángulos son sujetados con ayuda de unas prensas en "C", para evitar el movimiento, teniendo cuidado de no soldar esta a la base, colocando puntos en la parte interna y por los extremos de estos pedazos de ángulo.
9. Terminado de poner los puntos de soldadura se retira la prensa en "C" y se enfría la base con agua, de nuevo se retira el excedente de soldadura con el mini esmeril y se quitan las puntas de la base, obteniendo lo siguiente:



Imagen 4.59 Esmerilando puntos de la base y montando el alternador.

10. Con la ayuda de un rayador se marcan los orificios de los ángulos delanteros, para después ser barrenados, estos con broca de $\frac{1}{4}$ ", una vez realizados los barrenos se liman con un limatón para retirar la viruta que se genero por los barrenos.

11. Se compraran dos tornillos de $\frac{1}{4}$ " de grosor; uno de $1\frac{1}{2}$ " y el otro de 3", estos con sus respectivas, rondanas, rondanas de presión, y tuercas.



Imagen 4.60 Terminada de barrenar la base y colocando el alternador, con sus respectivos tornillos.

12. Montamos el alternador en su base, colocamos los tornillos, tuercas etc. y los ajustamos a la base, esto con ayuda de dos pericos de 6", teniendo cuidado de no apretar en exceso los tornillos, y verificando que no raspe el alternador al quitar y ponerlo.



Imagen 4.61 Apretando los tornillos de la base del alternador.

13. Para sujetar la veleta, se le soldara a la base tres omegas de $\frac{3}{4}$ " en su parte inferior, para lo cual se retira el alternador, se voltea y se colocan abrazaderas en omega en sus respectivas posiciones, marcamos con un rayador los bordes extremos y procedemos a simular con un tubo del mismo diámetro $\frac{3}{4}$ ", colocándolo al momento de ir soldando estas a la base. Con ayuda de la prensa en "C".



Imagen 4.62 Marcando donde se soldaran las abrazaderas en omega, en la partes inferior de la base.

14. Terminando de soldar las abrazaderas en omega en la base se retira el tubo, y se enfría la base con agua, se retira el exceso de soldadura con el mini esmeril, teniendo cuidado de no dañar las abrazaderas.
15. Para el dispositivo de orientación, se revisa la cuerda de la horquilla, para ver que no esté dañada, una vez terminado esto, se le coloca el juego de baleros inferiores, de esta misma. Hecho esto se mide la altura 10cm (de la base del balero inferior a donde comienza la cuerda de la horquilla) y con esta se corta el pedazo de tubo de $1 \frac{1}{2}$ ".



Imagen 4.63 Horquilla con balero o tasa inferior.

16. Una vez cortado el tubo de $1 \frac{1}{2}$ " , se procede a avellanar con la ayuda de dos martillos de bola (colocando la parte del martillo de bola en el hocico del tubo y golpear de forma continua, para que se forme el avellanado, teniendo cuidado de hacer esto en el suelo, con un apoyo de madera, para no lastimar la mesa de trabajo). El avellanado continúa hasta que asiente de forma pareja el tubo en el balero inferior. Esta acción se repetirá en el otro extremo del tubo, para que entre el otro balero superior.



Imagen 4.64 Verificando asentado y colocando el balero superior y tuercas de presión.

17. Terminado el avellanado se colocan el juego de rondanas de la horquilla, para ver cuánto apriete permiten y si permite juego (nulo).



Imagen 4.65 Horquilla con su juego de baleros o tazas.

18. La horquilla es montada en la base del alternador, donde se marca donde quedara soldada este, esta vez soldado con MIG, ya que por el espacio reducido, no se podrá utilizar el mini esmeril. Una vez marcado se procede a puntear la base con la horquilla.



Imagen 4.66 Punteando base, con dispositivo de orientación.

19. Para una mayor resistencia del dispositivo de orientación, se soldaran unos pedazos de ángulo, para que tenga mayor rigidez. Estos saliendo de la base del alternador, al tubo, en diagonal (sin tocar las tazas de la horquilla).



Imagen 4.67 Soldando soportes de la base al dispositivo de orientación.

20. Una vez punteado en la parte externa, se punteado en su interior, esto con cuidado ya que se reduce el espacio, y se dificulta el soldado, hecho esto se realizan los cordones en las uniones para fortalecer el dispositivo de orientación.



Imagen 4.68 Soldando las partes internas de la base y el dispositivo de orientación.

21. Se soldara un pedazo de tubo en la cabeza de la horquilla, este para que se sujete al tubo, donde se montara.
22. Después se pinta la base y el dispositivo de orientación, para ello se cubren las tazas de la horquilla con cinta "masking tape". Para no dañar los rodamientos con la pintura.
23. Se compra un cuarto de pintura blanca y medio de tiner, los cuales serán aplicados con la pistola de gravedad, para tener un mejor acabado.

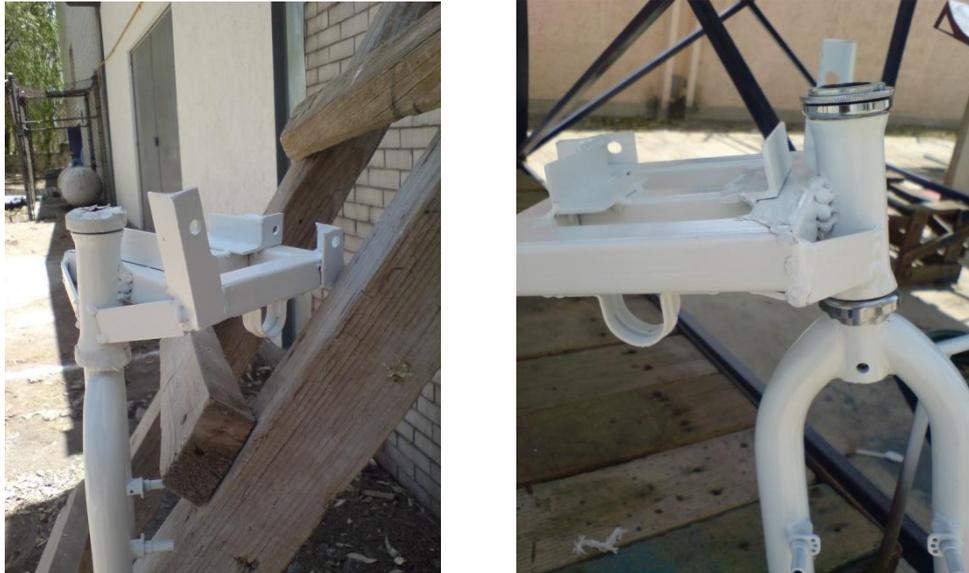


Imagen 4.69 Pintando la pieza y su resultado del pintado.

24. Terminado el pintado se verifica, el movimiento para ver que se deslice de forma sencilla y sin oposición, después se recorta el excedente de cada pierna de la horquilla (aproximadamente 2cm de bajo de las bases de los frenos).

4.16 Veleta

Para la veleta se compro un pedazo de tubo de $\frac{3}{4}$ "x 120cm de largo, este era de un tubo Conduit, y un pedazo de acrílico transparente de 50x70 cm, de 3mm.

1. Primero el tubo Conduit, se corta del tubo de 3m original, y que necesitamos solo los 120cm, después es limado las puntas de este, para retirar virutas.
2. El tubo será cortado con la tronadora de metales, los 70cm de largo, para que en este espacio entre el acrílico, esto realizándolo con el equipo de seguridad adecuado (careta transparente, guantes, bata).



Imagen 4.70 Tubo Conduit y cortándolo.

3. El corte con la tronadora de metales no se debe precipitar, esto es en pasar el tubo de forma rápida, por que se corre el riesgo de romper el disco. y salir lastimado. Por ello el corte se realiza de forma precavida y lenta, este corte dejando un corte de 5mm aproximadamente, donde entrara el acrílico.



Imagen 4.71 Separando el espacio generado por el corte de la tronadora.

4. En el acrílico se trazaran las siguientes medidas observadas en la imagen (dando una forma de veleta al acrílico), con ayuda de flexometro, escala de 50cm, pluma. Este trazado se realiza sin quitar la placa protectora del acrílico.

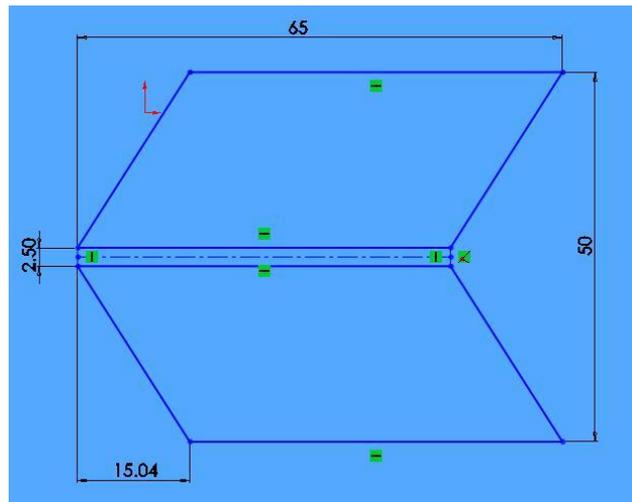


Imagen 4.72 Visualización en "Solid Works" de las medidas del acrílico.

- Terminado el trazado se cantonean los costados del acrílico (muy pequeño el corte), para dejar pareja la superficie, terminando esto se cortan los restos del acrílico, con la sierra cinta, para dejarlo como en la imagen anterior, y de nuevo se cantonean los costados cortados con la sierra cinta.



Imagen 4.73 Tubo Conduit y acrílico cortado (veleta).

- Ya cortado el acrílico se monta en el corte del tubo de $\frac{3}{4}$ " , para realizar unos barrenos pasados, que sujetaran el acrílico al tubo, usando broca de $\frac{5}{16}$ ".



Imagen 4.74 Montando el acrílico en el espacio generado del tubo Conduit.

7. Se compran los tronillos de 5/16" por 1 $\frac{1}{2}$ " de largo, con sus respectivas tuercas y rondanas. Los barrenos están separados aproximadamente 15cm uno del otro.
8. Se comprueba que la veleta embone de forma adecuada en la base (en las tres abrazaderas en omega), y se realizan tres barrenos en cada una para que este se sujete a la base (primero alineando, para ver que este derecho), se barrena con broca de 5/64 y se atornillan las pijas de 1".
9. Se prosigue al pintado de la veleta (solo el tubo), primero retirando el acrílico, con sus tornillos, esta con la pistola de gravedad para un mejor acabado (continuando con el color blanco), se retirara la capa protectora del acrílico para su estética.



Imagen 4.75 Pintando el tubo Conduit de la veleta.

10. Una vez seco se ensambla la veleta (tubo con el acrílico) con sus tornillos y tuercas correspondientes, y a su vez con la base del alternador y dispositivo de orientación.



Imagen 4.76 Terminado el ensamblando la veleta a la base y dispositivo de orientación.

11. Se monta el alternador a la base, con sus tornillos y accesorios, (recordando que no hay que apretar de más los tornillos del alternador).

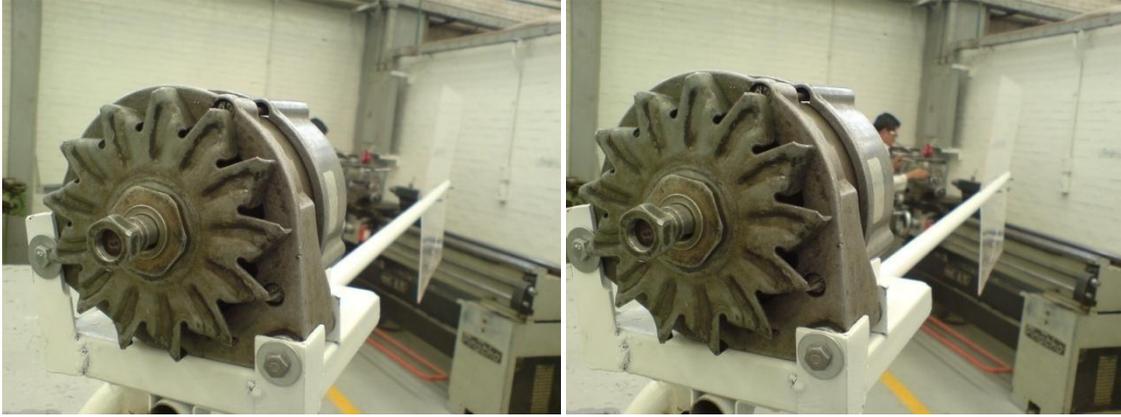


Imagen 4.77 Alternador montado en su base y complementos.

12. Para evitar que el alternador se moje por la lluvia y este expuesto a la intemperie, se construirá una protección a este, con lámina de acero inoxidable (con cubierta blanca 18cmX50cm).

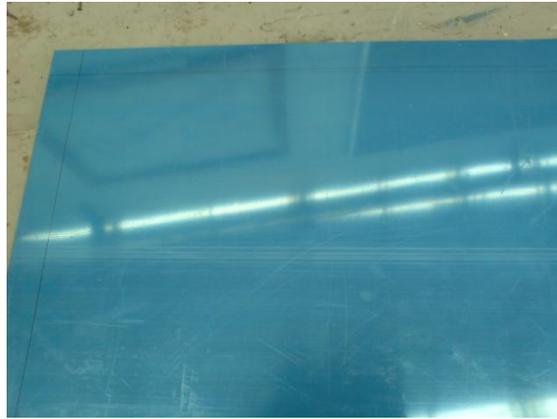


Imagen 4.78 Lamina de acero inoxidable.

13. La lámina se rolara, de forma gradual hasta que se cierre el círculo, una vez hecho esto se le soldara su bisagra de piano con ayuda de la soldadora de puntos.

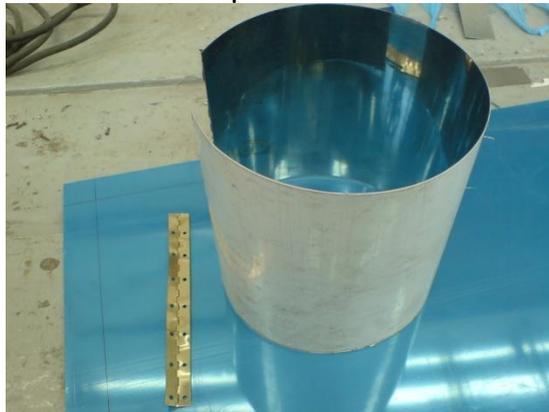


Imagen 4.79 Lamina rolada de acero inoxidable.

14. Se comprueba el rolado de la lámina, sobreponiéndolo en la estructura (Base y dispositivo de orientación), se marcan los puntos de la bisagra, los cuales se barrenaran.



Imagen 4.80 Soldando la bisagra de piano a la lámina.

15. Una vez marcados los puntos de la bisagra, se barrenan con una broca de 1/8", con ayuda de un taladro de mano. Terminado los barrenos se procede a remachar con remaches de 1/8".



Imagen 4.81 Remachando la lamina a la base del mini aerogenerador.

16. Terminado el remachado se recorre la carcasa para ver que su movimiento sea el indicado (no se atore la carcasa) y que cierre.
17. Para su colocación en la azotea del centro tecnológico, se utilizara la base de una antena de TV, y sus soportes. Con ayuda de los tirantes tensaran el tubo (galvanizado de 1 1/2", cedula 18, con 4m

de largo), para que evitar problemas de vibraciones en el mini aerogenerador.



Imagen 4.82 Base antenna de TV.

18. Para fijar el mini aerogenerador con el tubo se realizara un barrenado pasado,(base del alternador, y tubo galvanizado),esto es colocando el dispositivo de orientación, dentro del tubo y se barrenara, con broca de $\frac{1}{4}$ " , este pasado para después colocar su respectivo tornillo y tuerca, que serán los responsables de sujetar el mini aerogenerador con el tubo.



Imagen 4.83 Terminado el barrenado que sujeta el mini aerogenerador, al tubo.

19. Para evitar la oxidación interna del tubo de la base de la horquilla y que sirva como cojinete se le colocara un tapón de lavadora, al tubo que se soldó en la base de la horquilla.
20. Hecho esto se levanta el mini aerogenerador para colocar el rotor, esto de forma cuidadosa, para no dañar el rotor (colocando un desarmador para detener el rotor y se atornilla el rotor). Una vez atornillado se aprieta el prisionero hasta el tope.



Imagen 4.84 Terminando de colocar el rotor al alternador.

21. Para la instalación del tubo se utilizaron taquetes de expansión de ancla de $\frac{1}{4}$ " , con ayuda de una placa de acrílico como base del soporte de TV.
22. Se marcan los orificios para barrenar y se colocan los taquetes, terminado esto se coloca la placa de acrílico y el soporte de TV.

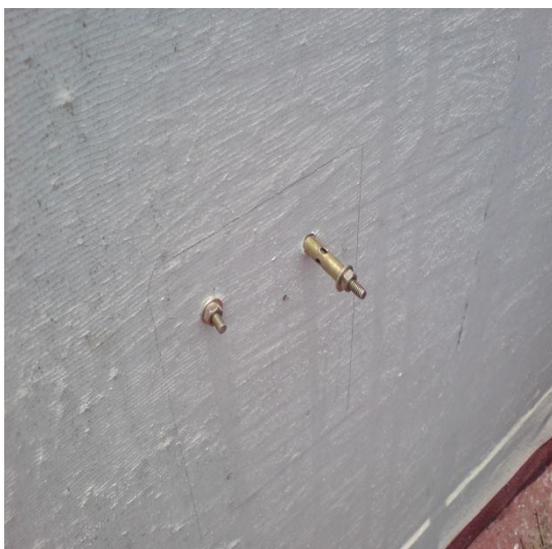


Imagen 4.85 Colocando los taquetes y la base de TV.

23. Después se coloca el tubo y se barrena el tubo a la medida del soporte de TV y se coloca el tornillo, se aprieta hasta el tope.
24. Lo mismo se repite en la siguiente base de la antena de TV, pero está colocada, una distancia de 1m. de separación.
25. Se coloca el tubo y se aprieta el tornillo para ahorcar al tubo.

26. Terminado esto se conectan los cables de los polos del alternador, (B+ y D-) respectivamente a la batería de 12-14Volts, para ser monitoreados.



Imagen 4.86 Batería marca Panasonic.

4.17 COSTOS DEL MINI AEROGENERADOR

Los costos mostrados en la tabla 2. Son aquellos en los que se compro algún material para la realización del Mini Aerogenerador, esto es sin contar las instalaciones y maquinaria utilizada para la elaboración del mismo.

Tabla 2 Costos del Mini aerogenerador.

Material	Precio	Observaciones
Tablas de MDF	\$150	2mX15cmX3.6cm
Pinta de aceite	\$35	Marca Sayer lack
Barniz de poliuretano	\$130	Marca Poly form, es para exteriores
Sellador de MDF	\$30	Marca Comex
Lijas para madera	\$30	De todos los grados
Tiner 5lts.	\$80	Para todos los usos
Resistol	\$20	Para pegar las tablas de MDF 1lt.
Barra de Aluminio	\$82	2"x 15cm
Tornillos Allen y prisionero	\$25	Los tonillos con sus respectivas tuercas y rondanas.
Tornillo (machuelo)	\$20	14mmx paso de 1.5 y 3" de largo
Perfil cuadrado	\$30	1m de largo

Perfil en Angulo	\$20	60cm
Electrodos de 1/8"	\$25	Para soldar con arco eléctrico $\frac{1}{2}$ kg.
Alternador	\$100	Obtenido en tianguis
Horquilla de bicicleta	\$5	En taller de bicis
Tazas de la horquilla	\$25	Viene en kit
Tubo de la horquilla	\$10	Retazo de tubo
Tornillos (base del alternador)	\$7	Con sus respectivas rondanas, rondanas de presión y tuercas.
Abrazaderas en (Ω)	\$9	Para sujetar el tubo de la veleta.
Pintura blanca	\$30	Una lata de $\frac{1}{4}$
Tubo Conduit	\$35	150cm X $\frac{3}{4}$ "
Acrílico	\$50	50cmX70cmX3mm
Tornillos (veleta y soporte)	\$5	1 $\frac{1}{2}$ "x $\frac{1}{4}$ "
Tubo galvanizado	\$175	1 $\frac{1}{2}$ " x4m, cedula 18
Tapón de lavadora	\$5	1 $\frac{1}{2}$ "
Tornillo del tubo	\$5	Sujeta la base al tubo, con su respectiva tuerca y rondana.
Taquetes de expansión en ancla	\$40	6 taquetes de $\frac{1}{4}$ "x3/8"
Base de TV	\$30	Obtenido en tianguis
Costo total.	\$1,208	

CONCLUSIONES

Los Mini Aerogeneradores, Mini eólica o de Pequeña potencia, han demostrando un alto impacto en los últimos años, en gran parte del mundo, por su gran facilidad de construcción, mantenimiento e instalación. Para generar energía eléctrica en zonas donde no se encuentran conectados a la red eléctrica y con ello obtener un mejor estilo de vida para las personas de estos lugares.

El Mini Aerogenerador fue fabricado de materiales fáciles de conseguir en el mercado, el MDF (es ecológico), los perfiles (cuadrados, ángulo, el tubo), se reciclan, y el factor importante para las personas es que son económicos.

El mini aerogenerador se fabricó de forma artesanal, debido a que se necesitan diversas maquinas, herramientas, y dispositivos para poder construirlos, pero no quita la intención, si alguna persona quiera construirlo lo pueda llevar a cabo.

El mini aerogenerador está girando de forma regular, pero debido al nivel eólico bajo ($<5\text{m/s}$) en la zona (Fes Aragón) e intermitente, no es lo requerido para abastecer de energía eléctrica una pequeña instalación domestica.

El costo Total de la construcción del mini aerogenerador es de: \$1,208pesos, (potencia teórica de 250watts, $V^{\circ}=5\text{m/s}$), es un factor importante, ya que el valor de los que se encuentran en el mercado se cuadriplica su precio y tienen que esperar un tiempo de respuesta, para saber si su pedido será ejecutado o no. Siendo este Mini Aerogenerador una buena solución a ello.

Para trabajos posteriores del mini aerogenerador, se puede desarrollar mejoras en la ligereza: en la base, hacer el rotor de fibra de vidrio, comprar un mejor alternador (nueva generación), mejorar el dispositivo de orientación, incluir un regulador de voltaje en el equipo, colocar una mejor torre para lograr mayor altura (colocando un tubo de acero de cedula 10, para que este resista mejor las vibraciones del viento y para lograr una mayor altura), etc.

En el proceso de construcción del mini aerogenerador en el Lab. L-1, se reafirmaron conocimientos, a si como adquirí nuevos (realizar un machuelo con un tornillo, tronzado en torno con cuchilla, realizar escantillones, desbastar con escochebere), a si como se presentaron diferentes dificultades en el proceso como: el balanceo del rotor, conseguir el retazo de lamina de acero inoxidable, el retazo de acrílico, trasladar el tubo galvanizado etc.

BIBLIOGRAFÍA

1. *A.S. Laxson P.W. Carlin and E.B. Muljadi (2001), The History and State of the Art of Variable- Speed Wind Turbine Technology. Technical Report NREL/TP-500-28607, NREL, February 2001.*
2. *Bastianon Rhoj (1994). "Energía del viento y diseño de turbinas eólicas", Ed. Tiempo de Cultura Ediciones.*
3. *Butterfield Muljadi E.(2000), Pitch-Controlled Variable-Speed Wind Turbine Generation. NREL/CP-500-27143.*
4. *CFE (2006), Programa de obras e inversiones del sector eléctrico en México (POISE) 2007-2016.*
5. *COPAR (2005), Costos y parámetros de referencia para la formulación de proyectos de inversión. Generación. CFE, Subdirección de Programación. Gerencia de Evaluación y Programación e Inversiones. México.*
6. *Cucó Pardillos Salvador (1987), Apuntes Modulo Energía Eólica y Curso Consultor en Energía Renovables.*
7. *D. Schwartz Elliott and M. Nierenberg R. (1999), "Wind Resource Mapping of the State of Vermont," Ed. Wind Energy Association.*
8. *El sistema eléctrico español. Síntesis 2009» (PDF). Consultado el 11 de marzo de 2011. Gran crecimiento de energía eólica en América Latina».*
9. *Escudero López José María (2004), Manual de energía eólica investigación, diseño, promoción, Construcción y explotación de distintos tipos de instalaciones, Ed. Mundi prensa.*
10. *EWEA-AWEA (2003). Global wind power growth continues to strengthen. Ed. EWEA*
11. *Frailé Mora Jesús (2003), Maquinas eléctricas, Ed. Mc Graw Hill, 5 editions.*
12. *Gipe Paul and Aljarafe de Mairena (2000), Energía eólica, Aprovechamiento de la energía eólica, Ed. Progenza.*
13. *Gouriérés Le D. (1983), Energía Eólica: teoría, concepción y cálculo práctico de las Instalaciones, Ed. Masson.*
14. *Kwik Sander Mertens Gijs and Gerard van Bussel Felip. (2003), Performance of a high tip speed ratio h-Darrieus in the skewed flow on a roof. (AIAA-2003-0523).*

15. Landi Balestrino Aldo and Sani Cuk Luca (2002), *Converter global control via fuzzy logic and scaling factors*. Volume 38. March/april 2002.
16. Lines David (1991), *Building Power Supplies*. Radio Shack, Master Publishing.
17. Macdonald, M. Berry (2003), *Research Notes – Clean Energy for the Future*.
18. Meadors Van Dam J, (2003), *Wind Turbine Generator System Power Performance Test Report for the Bergey Excel-S/60 Wind Turbine with SH3052 Airfoil Blades*.
19. Mohan Undeland Robbin (1995), *Power Electronics*. Number ISBN: 0-471-58408-8. Wiley, second edition.
20. Moreno Bermejo Sergio (2005), *Proyecto fin de Carrera UPCT: “Diseño de palas de una aeroturbina de 2 Mw. Optimización de la energía producida por el parque eólico Compuesto por estas máquinas” (Recurso electrónico)*, Ed. Cartagena.
21. Pajarón Alemán Iván (2006), *Proyecto fin de Carrera UPCT: “Diseño y optimización de la energía Producida de un parque eólico en San Javier”*, Ed. Cartagena.
22. R.E. Sheldahl and B.F. Blackwell. (1977), *Free-air performance tests of a 5-meter-diameter Darrieus turbine*. Technical Report 77-1063, Ed. SANDIA Laboratories.
23. Sánchez Kaiser Antonio, Viedma Robles Antonio, (2003), *Energía Eólica*, Ed. Cartagena.
24. Spera David A. (1998) *Wind turbine technology*. Number 0-7918-1205-7. ASME, 1998.
25. Valverde Martínez, Aniceto (1987), *Aprovechamiento de la energía eólica*, Ed. Murcia: Universidad.
26. W. Hart Daniel (2005), *Intermediate Technology Development Group. Energy from the Wind*, Ed. Prentice Hall, (2001.103)
27. Yuan-Chuan Liu, Yaow-Ming Chen and Feng-Yu Wu (2001), *Multi-Input DC/DC Converter Based on the Multiwinding Transformer for Renewable Energy Applications*. *Wind Energy Systems*, Ed. Manhattan, KS, electronic edition, 2001.

Páginas Web

Aerogeneradores:

- www.gamesa.es
- www.mtorres.es
- www.nordex.de
- www.mhi.co.jp
- www.fuhrlaender.de
- www.accion-energy.com
- www.repower.de
- www.nordex-online.com
- www.gewindenergy.com
- www.enercon.de
- www.windpower.org
- www.bornay.com
- www.ecoterra.org
- www.energias-renovables.com
- www.mtorres.es
- www.ballard.com
- www.ceere.org/verl/about_wind/

<http://elblogverde.com/energia-eolica/>

<http://erenovable.com/energia-eolica/>

http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica

<http://web.ing.puc.cl/~power/alumno03/alternativa.htm>

http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_612_energia_eolica

http://www.revistafuturos.info/futuros14/energia_eolica.htm

<http://www.amdee.org/>

<http://www.textoscientificos.com/energia/eolica>

http://www.amics21.com/laveritat/introduccion_aerogenerador_darrieus.pdf

http://www.amics21.com/laveritat/savonius_generator_deutsch.pdf

http://www.amics21.com/laveritat/introduccion_teor%C3%ADa_turbinas_eolicas.pdf

<http://www.mtpc.org/RenewableEnergy/index>

<http://www.pnud.cl/boletin/enero/cont6.htm>, enero 2004.

<http://angelongo.en.eresmas.com/historiaenergiaeolica.htm>, Mayo 2004.

<http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226>.

<http://www.windpower.org>, Septiembre 2003.

<http://www2.ing.puc.cl/power/alumno04/>

<http://angelongo.en.eresmas.com/ER%20EOLICA%20AEROGENERADORES>.

http://www.wwindea.org/home/images/stories/worldwindenergyreport2009_e.pdf

http://www.elpais.com/articulo/sociedad/eolica/supera/primera/vez/mitad/produccion/electrica/elpepusoc/20091109elpepusoc_2/Tes.

<http://www.windtech-international.com/content/view/full/1045/1/>

http://www.ree.es/sistema_electrico/pdf/infosis/Avance_REE_2009_v2.pdf
http://www.wwindea.org/home/images/stories/worldwindenergyreport2009_e.pdf
http://www.ree.es/sistema_electrico/pdf/infosis/Avance_REE_2007.pdf
http://www.ree.es/sala_prensa/web/notas_detalle.aspx?id_notas=65.REE.es
<http://bst-tech.blogspot.com/2010/01/las-costas-de-reino-unido-albergaran.html>
<http://www.energiasrenovables.com/paginas/ContenidoSecciones.asp?ID=32&Cod=11874&Tipo=&Nombre=Bolet%EDn%20E%F3lica>
<http://educasitios2008.educ.ar/aula42/category/la-energia-eolica/>
<http://educasitios2008.educ.ar/aula42/la-energia-eolica/>
<http://educasitios2008.educ.ar/aula42/biomasa/>
http://www.ciemat.es/recursos/doc/Areas_Actividad/Prospectiva_Tecnologica/34301686_211200911951.pdf
<http://www.fwggame.net/>
<http://www.massiveattack.clan.su/>
<http://www.ewea.org/>, European Wind Energy Association.com
<http://www.cfe.gob.mx>
http://www.genomaf.com/normatividad_semarnat
<http://www.emd.dk/WindPRO/Frontpage> Global Wind Energy Council-Press Release. Global Wind Energy Markets.com
<http://www.nwrc.usgs.gov/factshts/2005-3069.pdf> Rizk J. and Nagrial M.com
<http://www.awea.com>
http://www.repp.org/articles/static/1/binaries/wind_online_final.pdf
<http://www.greenpowergovs.org/wind/Case%20Studies.html>
<http://www.dsireusa.org/>