

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
'ANTONIO NARRO'**

DIVISIÓN DE INGENIERIA



**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN AEROGENERADOR DE PEQUEÑA
CAPACIDAD.**

POR:

CLAUDIO EZEQUIEL CANUL TUN

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TITULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. DICIEMBRE DEL 2007

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
'ANTONIO NARRO'**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN AEROGENERADOR DE PEQUEÑA
CAPACIDAD.**

POR:

CLAUDIO EZEQUIEL CANUL TUN

TESIS

Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador

Como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN.

APROBADA

El presidente del jurado

DR. FELIPE DE JESÚS ORTEGA RIVERA.

Asesor principal

M.C. Sergio Z. Garza Vara

Coasesor

ING. Enrique Mandujano Álvarez

Coasesor

DR. Raúl Rodríguez García.

EL COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre del 2007.

AGRADECIMIENTO

A JEHOVA MI DIOS.

Por sus bendiciones nuevas cada mañana, por estar siempre conmigo, por ser mi amigo, mi padre y mi todo. Bendeciré por siempre tu nombre Jehová único Dios y creador del universo, todo lo que tengo y he logrado ha sido gracias a ti, a tu infinita misericordia y por siempre te alabare.

A mi **Alma Mater (Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”)**, por brindarme la oportunidad de hacer uso de su infraestructura para poder desarrollarme académicamente como estudiante con la colaboración de su personal docente y administrativo, así como también por todos los servicios que me brindo durante este tiempo y de alguna u otra manera hicieron mas placentera de mi vida.

Al **Dr. Felipe de Jesús Ortega Rivera**, por todo su valioso apoyo que me otorgo durante mi formación profesional y por darme su confianza en la realización de este trabajo.

Al **M.C. Sergio Garza Vara**, por sus grandes enseñanzas durante mi formación profesional y por su participación en el presente trabajo.

Al **ING. José Enrique Mandujano Álvarez**, por la atención que me brindo durante mi formación profesional.

A los catedráticos del departamento de riego y drenaje, por que fueron un estímulo mas para alcanzar este sueño.

- Dr. Julio A. Méndez Berlanga.
- Dr. Salvador Muños Castro.

➤ M.C. Gregorio Briones Sánchez.

A todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron en este trabajo con su valiosa colaboración.

DEDICATORIA

A MIS GRANDIOSOS PADRES:

De todo corazón y respeto, padres queridos, gracias a Dios primeramente y a ustedes que me enseñaron los valores de la vida, me dieron un nombre, y el mejor regalo que puede haber, el brindarme una educación y una carrera profesional, que para mi lo es todo en esta vida, y en lo que respecta a mi, seguiré en el sendero de la vida siempre orgulloso de ustedes, yo se que también ustedes siempre han estado orgullosos de mi, nunca los defraudare. En todo momento y en todo lugar y sobre todas las cosas siempre los llevare en mi corazón. Que Jehová nuestro Dios les Bendiga por siempre.

Sr. Ramón Cruz Canul Vázquez.

Sra. Lucila Tun Cahuich

A mis padres, personas a quien les debo todo lo que ahora tengo, por que han luchado para alcanzar las metas.

A MIS HERMANOS:

También les dedico este titulo por su apoyo incondicional y confianza que depositaron en mí y siempre estaré infinitamente agradecido con cada uno de ustedes.

Esther, Sergio, Adriana y Raúl.

A MIS PASTORES:

Quienes siempre me Dieron su mejor consejo, me orientaron y de ellos aprendí a confiar mas en Jehová el único Dios.

- **TOMAS AQUINO CHUK ACEVES. (CAMECHE, CAMPECHE)**
- **FRANCISCO GAMES REGALADO. (SALTILLO COAHUILA)**
- **MARTIN MENDOZA (CULIACAN SINALOA).**

A MIS QUERIDOS SOBRINOS:

Quienes con su cariño e inocencia han venido a alegrarnos mas la vida.

A MIS GRANDES AMIGOS:

Damián Sánchez. Omar Ortega, Eleazar Ortega, José del Carmen. Juan Aldana. Juan Manuel, Gerardo Solórzano y Armando Abreu Baños.

A MIS CONSEJEROS UNIVERSITARIOS.

DR. Julio Antonio Méndez Berlanga.

Dr. Raúl López Estrada

A LA IGLECIA DE DIOS DEL PALMITO, CULIACAN SINALOA.

A todos mis hermanos y hermanas en Cristo, por el tiempo que conviví con todos ustedes, todos son especiales para mi, siempre los recordare, los quiero mucho a todos, ya que en mi estancia con ustedes, fueron una familia para mi, al igual que mis padres y mis hermanos. Hna. Estela Escalante Salazar y José Antonio Núñez, Cristina, Alberto, Edgar. Etc. No tengo mas espacio para todos aquí, pero en mi mente y corazón siempre estarán. Dios les Bendiga por siempre.

ÍNDICE DE CONTENIDO	PAGINAS.
AGRADECIMIENTO,	i
DEDICATORIA.	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.	vii
ÍNDICE DE CUADROS.	ix
I. INTRODUCCIÓN	x
Justificación	x
Objetivos.	xi
II. REVICION DE LITERATURA.	
1, ORIGEN Y TRASCENDENCIA DE LOS AEROGENERADORES.	
1,1 Antecedentes históricos del aprovechamiento de la energía Del viento.	1
1,2 Molinos de viento	2
1,3 Los primeros aerogeneradores.	3
1,4 Desarrollo científico y tecnológico eoloeléctrico.	4
1,5 Crisis de petróleo de 1979,	4
1,6 Aerogeneradores modernos.	6
2, CONDICIONES METEOROLÓGICAS FAVORABLES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UNA ESTACIÓN EOLOELÉCTRICA.	
2,1 El viento.	7
2,2 Circulación del viento en la atmósfera.	7
2,3 Evaluación del recurso eólico.	9
2,4 Medición de la velocidad del viento.	10
2,5 variaciones de la velocidad del viento.	11
2,5.1 Fenómenos diarios y estacionales.	11
2,5.2 Turbulencias	11
2,5.3 Ráfagas.	12
2,5.4 Variaciones estacionales.	12
2,6 Determinación de energía y potencia eólica.	12
2,6,1 Gradiente Eólico.	13
2,7 Determinación del potencial eólico en localidades para bombeo Eólico de agua.	14
3, ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO.	
3,1 La naturaleza de la electricidad	16
3,2 ¿Qué es la electricidad?	16
3,3 La corriente eléctrica.	17
3,4 El magnetismo.	19

3,5 Teorías del magnetismo.	19
3,6 Los imanes.	20
3,7 Materiales magnéticos.	20
3,8 El campo magnético	21
3,9 Leyes del magnetismo.	21
3,10 El electromagnetismo.	22
3,10,1 Electroimanes	23
3,10,2 Inducción Electromagnética.	23
3,11 El alternador.	28
3,12 El generador.	34
4, PRINCIPIOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS AEROGENERADORES	
4,1 turbinas eólicas.	40
4,2 Clasificación de los aerogeneradores.	41
4,3 Subsistemas principales en aerogeneradores.	43
4,3,1 Dispositivos de arrastre	43
4,3,2 Sustentación y levantamiento.	43
4,3,3 Sistema de la turbina eólica.	44
4,3,3,1 Construcción.	44
4,3,3,2 Orientación.	45
4,3,3,3 Control.	45
4,3,3,4 Operación.	46
4,3,3,5 Torres.	47
4,4 Diseño aerodinámico de la palas del rotor.	48
4,5 Potencia y eficiencia de captación y conversión del rotor eólico.	53
4,5,1 Curva de potencia de un aerogenerador.	56
4,5,2 Comportamiento del coeficiente de potencia del rotor Eólico.	58
4,6 Sistemas de regulación de potencia y velocidad.	59
4,6,1 Regulación activa por perdida aerodinámica. En aerogeneradores.	59
4, 6,2 Regulación activa por cambio de ángulo de paso.	60
4,7 Dimensionamiento de un banco de baterías.	61
5, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA EÓLICA.	
5,1 Disponibilidad del recurso eólico para su aprovechamiento.	63
5,2 La energía eólica, alternativa energética sustentable.	64
5,3 Ventajas de la energía eólica.	64
5,4 Compatibilidad con la agricultura y el medio ambiente.	66
5,5 Aspectos que favorecen el desarrollo de proyectos eoloelectricos. Eoloelectricos.	67
5,6 Desventajas de la energía eólica.	67
6. El Mercado de la energía eólica en México.	
6,1 Análisis de la oferta.	69

6.1.1 Análisis Cuantitativo.	69
6.1.2 Análisis cualitativo.	72
6.2 Análisis del comercio.	73
6.2.1 Análisis cuantitativo.	73
6.2.2 precios de la Energía eólica.	74
6.2.3 Principales distribuidores de la energía Eólica.	75
6.2.4 Análisis Cualitativo.	76
6.3 Análisis de la demanda.	77
6.3.1 Tendencias generales del consumo.	77
6.3.2 Análisis del comportamiento del consumidor.	79
6.4 anexos.	80
6.4.1 Listado de direcciones de interés.	80
III MATERIALES Y MÉTODOS.	
SITIO EXPERIMENTAL.	83
Ubicación geográfica.	83
Clima.	83
Material Utilizado.	83
Descripción del aerogenerador a evaluar.	84
METODOLOGÍA.	86
Procesamiento de datos.	86
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	86
V CONCLUSIONES	89
VI RECOMENDACIONES	90
VII BIBLIOGRAFÍA.	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Molino de viento danés	3
Figura 1.2 Aerogenerador Gedser	3
Figura 2.1 En las áreas anticiclónicas la presión es superior a lo normal a diferencia de las ciclónicas donde la presión es inferior a lo normal	7
Figura 2.2 Circulación general de la atmósfera.	8
Figura 2.3 El gradiente eólico. Los cálculos son suponiendo una velocidad de 10 m/s a 10 m de altura y ($a=1/7$)	9
Figura 2.4 Mapa de recurso eólico para aplicaciones remotas y Pequeñas turbinas eólicas.	14
Figura 3.1 Toda la materia se compone de átomos	16
Figura 3.2 Estructura del átomo de cobre	16
Figura 3.3 Flujo de electrones en un conductor.	17
Figura 3.4 Medición de la corriente eléctrica.	17
Figura 3.5 Hierro desmagnetizado	19
Figura 3.6 Hierro magnetizado	19
Figura 3.7 y 3.8 (la orientación de la cambia en el sentido del flujo De la corriente	22
Figura 3.9 y 3.10 La corriente es proporcional al campo magnético; A mayor corriente se crea un campo magnético mayor.	23
Figura 3.11 Generador básico de C.D.	25
Figura 3.12 Generador básico de C.D.	25
Figura 3.13 Autoinducción en una bobina	26
Figura 3.14 Inducción mutua en devanados primario y secundario.	27
Figura 3.15 Partes principales en un alternador automotor moderno.	29
Figura 3.16 Partes del voltaje generado durante cada revolución.	30
Figura 3.17 Curvas de voltaje.	31
Figura 3.18 Fases del voltaje (Stator Delta)	31
Figura 3.19 Fases del voltaje, Estator en estrella.	31
Figura 3.20 Y 3.21. Rectificación de las tres fases de onda completa En estatores configurados en estrella y delta.	32
Figura 3.22 Circuitos de carga y rectificación en el sistema eléctrico de un automóvil.	33
Figura 3.23 Partes básicas de un generador.	34
Figura 3.24 Flujo de corriente básica del generador.	34
Figura 3.25 Voltaje básico generado.	34
Figura 3.26 Las partes completas de un generador.	34
Figura 3.27 Como cambia la polaridad de la armadura durante. Cada revolución.	35
Figura 3.28 Proceso mediante el cual el generador convierte la corriente De c.a. A c.d.	36
Figura 3.29 Generador de c.d. en un panorama más detallado.	37
Figura 4.1 Partes básicas de un sistema eólico para generación	

De electricidad.	40
Figura 4.2 Diferentes tipos de aeroturbinas.	42
Figura 4.3 Diferentes tipos de aeroturbinas.	42
Figura 4.4 Curva de potencia de un rotor con dos generadores de diferentes Tamaños.	46
Figura 4.5 Solidez y área de barrido en una turbina eólica.	49
Figura 4.6 Diámetro de aerogeneradores- potencia nominal.	50
Figura 4.7 Diseño aerodinámico de la hélice del rotor.	51
Figura 4.8 Torcimiento en aspas para un generador de eje horizontal.	51
Figura 4.9 Conicidad en aspas para generadores de eje horizontal.	52
Figura 4.10 Porcentaje de aportación de potencia del rotor.	53
Figura 4.11 Curvas de comportamiento de diferentes rotores.	55
Figura 4.12 Curva de potencia para velocidad constante y velocidad variable.	57
Figura 4.13 Representación grafica de la curva de potencia de un Aerogenerador de pequeña capacidad.	57
Figura 4.14. Comportamiento del coeficiente de potencia en un rotor eólico	59
Figura 4.15 Fuerzas actuantes sobre el perfil aerodinámico.	60
Figura 4.16 Desprendimiento de flujo sobre un perfil aerodinámico.	60
Figura 4.17 Mecanismo para el control del ángulo de paso.	61
Figura 6.1 Capacidad efectiva instalada de generación.	70
Figura 6.2 Generación por fuente.	71
Figura III.I Aerogenerador de diseño a evaluar.	85
Figura IV.I Curva de comportamiento del aerogenerador.	87
Figura IV.II Curvas obtenidas de la corriente generada a traves del tiempo con relación a la intensidad del campo magnético existente	88

NDICE DE CUADROS.

Cuadro 2.1 Estimación de la potencia eólica por área. (Perpendicular al Viento).	9
Cuadro 2.2 Escala de vientos Beaufort.	10
Cuadro 4.1 TIPOS DE SCEE	41
Cuadro 4.2 Materiales usados para la construcción de aspas para. Para Aerogeneradores.	44
Cuadro 6.1 El mercado de la energía eólica en México	71
Cuadro 6.2 Capacidad efectiva de energías eólicas.	72
Cuadro 6.3 Generación bruta a partir de energías renovables.	72
Cuadro 6.4 Exportaciones de aerogeneradores.	73
Cuadro 6.5 Importaciones de Aerogeneradores.	74

I. INTRODUCCIÓN:

El aprovechamiento del viento para generar energía es casi tan antiguo como la civilización. La primera y la más sencilla aplicación fue la de las velas para la navegación. Los científicos calculan que hasta un 10% de la electricidad mundial se podría obtener de generadores de energía eólica a mediados del siglo XXI. La energía eólica que no contamina el medio ambiente con gases ni agrava el efecto invernadero, es una valiosa alternativa frente a los combustibles no renovables como el petróleo. Es una de las fuentes más baratas, que puede competir en rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales como las centrales térmicas de carbón. La energía eólica, en comparación con las demás fuentes energéticas renovables, es la que tiene mayor aceptación en la sociedad y compatibilidad con el medio ambiente, y para su aprovechamiento es la que genera el mayor número de empleos en comparación con las otras fuentes energéticas renovables, además de que el precio por kw generado se asemeja mucho y es casi similar al precio del kw convencional, otra de las grandes ventajas es la disposición permanente e inagotable del recurso eólico.

México cuenta con un gran potencial eólico en todo su territorio, esto representa la oportunidad de implementar centrales eolieléctricas para el suministro de energía eléctrica a los ranchos y comunidades carentes de electricidad convencional, y de esta manera satisfacer las necesidades eléctricas de las comunidades aisladas, así como también impulsar la producción agrícola y ganadera mediante el bombeo de agua.

JUSTIFICACIÓN:

El 80% de la demanda energética del mundo se satisface con petróleo, carbón y gas natural, por lo que los países del mundo dependen de los hidrocarburos como el soporte de su propia economía, a pesar de los problemas ambientales que ocasionan: Contaminando el aire, mares, provocando la lluvia ácida, el cambio climático entre otras funestas consecuencias. Ante los efectos negativos que conllevan a su uso en todo el mundo se investigan y desarrollan nuevas tecnologías que utilicen energías limpias. Se trata de energías que produzcan una fuente de energía limpia y perdurable; fuentes de energía que provienen a través del sol y se manifiestan a través del viento cuerpos de

agua y biomasa, energías limpias y amigables con el medio ambiente que para ello son llamadas energías renovables.

El viento ofrece una de las fuentes de energías renovables más continuas y limpias a partir del cual se han desarrollado aerogeneradores con tecnología cada vez más avanzada. El dinamismo de la creciente de esta tecnología se refleja en una tasa de crecimiento del 30% en los últimos años. Las energías renovables ofrecen las posibilidades de desarrollo económico para las comunidades aisladas del país, es rentable en proyectos productivos y transformadores con la finalidad de generar empleos e ingresos económicos, además de brindar las posibilidades de comunicación telefónica, telecomunicaciones, y principalmente para el desarrollo educativo en las comunidades aisladas. La generación de energía eolieléctrica, es una de las energías más baratas, su costo de producción es competitivo con la fuente de energía convencional; con la energía eólica se pueden obtener grandes cantidades de electricidad y con bajos costos de producción por lo que su aplicación es cada vez más rentable, el estado de Coahuila cuenta con un potencial eólico bueno y excelente en gran parte del territorio, por lo cual es rentable el desarrollo de nuevas tecnologías en el diseño de aerogeneradores, para satisfacer las demandas y necesidades de electricidad en las comunidades aisladas del estado.

OBJETIVOS.

Con el presente proyecto de investigación se espera demostrar la eficacia del aprovechamiento de la energía eólica, y demostrar que en cuanto su aprovechamiento es una de las fuentes energéticas que actualmente tienen la mejor relación beneficio/costo, sobre las demás fuentes alternas. Demostrar que para su aprovechamiento no se requiere de grandes inversiones, es posible aprovechar los materiales disponibles en cada región, con conocimientos básicos de electricidad.

Con la base de datos e información recabada en la entidad, se procederá a realizar el diseño y construcción del aerogenerador que se ajuste a las necesidades productivas de las comunidades aisladas en la región. La implementación del aerogenerador está enfocada en la generación de electricidad para el bombeo de agua para impulsar la

producción de pequeños huertos familiares, para el abrevadero de agua para el ganado, y para uso electrodoméstico. Con los huertos familiares se espera mejorar la dieta alimenticia de las familias, el bombeo de agua para el ganado con la finalidad de mejorar la calidad y evitar la pérdida de peso en los mismos por la falta de agua.

1, ORIGEN Y TRASCENDENCIA DE LOS AEROGENERADORES.

1,1 Antecedentes Históricos Del Aprovechamiento De La Energía Del Viento.

La energía eólica ha sido aprovechada como fuerza motriz en la navegación y para generar energía mecánica en molinos de grano y bombas de agua desde tiempos muy remotos. Solo desde fines del siglo pasado se ha empleado para generar energía eléctrica. 3,000 años antes de cristo los egipcios navegaban con embarcaciones de vela por el Nilo. Los molinos de viento parecen haberse originado en Persia hace unos 2,000 años, aunque existen indicios de que en China ya eran probablemente conocidos también durante la misma época. El desarrollo de molinos de viento para generar electricidad se generalizo a fines de siglo XIX y principios del siglo XX. El primer aerogenerador de energía eléctrica fue diseñado por P. LaCour en Dinamarca y entro en operación en 1890, poco tiempo después que el primer generador eléctrico a vapor (Alonso y Rodríguez, 1985).

2000 a.C. (?) Uso de molinos de viento por chinos y japoneses

100 a.C. (?) Uso de molinos de Viento en Egipto

900's Ruedas de viento empleadas por los persas para irrigación

1191 Primer molino de viento reportado en Inglaterra

1330 Cuadro referente a molino de viento sobre lienzo en el museo alemán de Núremberg

1500 Bosquejo de Leonardo Da Vinci sobre la construcción de un molino de viento

1700's Las máquinas de vapor comienzan a desplazar el uso de la ruedas accionadas por viento

1745 Edmund Lee patenta el método de direccionamiento automático de los molinos

1891 Establecimiento de una estación experimental en Askov, Dinamarca Post Guerra Mundial Investigaciones en varios países para utilizar en gran escala la energía del viento

1950's La energía atómica disminuye el interés sobre el uso de la energía del viento

1970's La escasez de energéticos revive el interés sobre el aprovechamiento de la energía eólica

1,2 Molinos De Viento

Los molinos de viento llevan siglos convirtiendo el viento en energía, se emplean para moler grano, sal, azúcar, bombear agua y producir electricidad. Su diseño varía con las distintas regiones, pero el principio es el mismo para todos.

La rueda hidráulica dio lugar al molino harinero activado por energía hidráulica. Pero surge a la par la necesidad de aprovechar otra de las fuentes de la naturaleza, la energía eólica. El primer molino de viento fue ideado por Herón (c. 20-62 d.C.) y servía para mover los fuelles de un órgano. Los persas, a partir del siglo VII, ya poseían molinos para riego y molienda, formados por alas montadas sobre un palo vertical, cuyo extremo inferior movía una molienda. Estos molinos se difundieron por los países árabes y fueron llevados a Europa por los cruzados (aunque otros investigadores opinan que fueron los mismos árabes quienes los introdujeron en Europa). Se cree que alrededor del S. XI Inglaterra había adoptado este invento, y en los Países Bajos, un molino se supone que data del 1197. Entre los siglos XI y XIII se difundieron por Europa. El ejemplar que ha llegado a conocerse era de un molino, en que todo el cuerpo giraba alrededor de un eje vertical montado sobre troncos de encina, apoyados sobre una base de ladrillos.

Eran estructuras de madera (torres de molino), que se hacían girar a mano alrededor de un poste central para levantar sus aspas al viento. El molino de torre se desarrolló en Francia a lo largo del siglo XIV. Consistía en una torre de piedra coronada por una estructura rotativa de madera que soportaba el eje del molino y la maquinaria superior del mismo. Más adelante, todo el edificio se construyó de ladrillos. Generalmente de la parte superior sobresalía un eje horizontal. De este eje partían de cuatro a ocho aspas, con una longitud de entre 3 y 9 metros. Las vigas de madera se cubrían con telas o planchas de madera (En los primeros se usaron velas de barcos). La energía generada por el eje al girar, se transmitía, a través de un sistema de engranajes, a la maquinaria ubicada en la base de la estructura.

1,3 Los Primeros Aerogeneradores.

Hacia 1916 en Dinamarca se tenía en operación más de 1300 aerogeneradores, con una generación de energía eléctrica de 500 millones de Kwh. /año. El primer gran generador fue construido en la unión Soviética hacia 1931 cerca de Yalta en el Mar Negro, con aspas de 30.5 m de diámetro y una torre de 23 m de altura. La capacidad de generación de esta unidad era de 100 kw alcanzando a la salida (c.a.) del generador de inducción su valor nominal a vientos de 40 km/hr., produciendo unos 280,000 Kwh. /año.

Aprovechamiento del Potencial Eólico



Fig. 1.1 Molino de viento danés

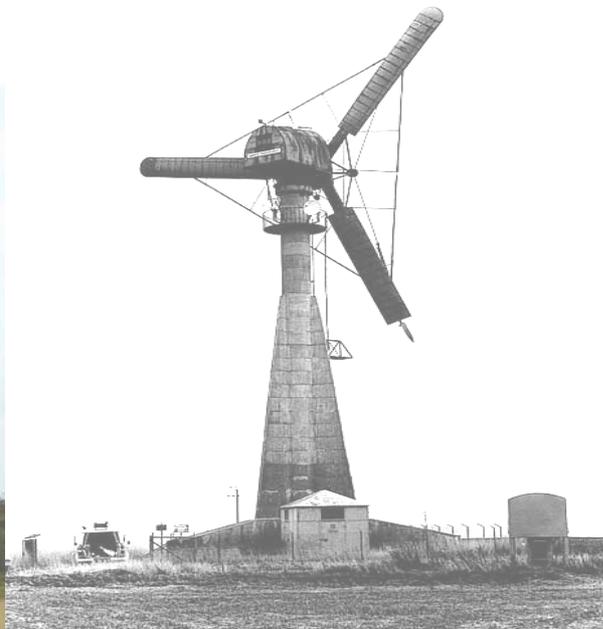


Fig. 1.2 Aerogenerador Gedser

Entre 1941 y 1945 en Estados Unidos se construyó la unidad Smith-Putman que sería la más grande del mundo hasta 1978. Su rotor tenía dos aspas de 53 m de diámetro montadas sobre una torre de 33 m y una potencia nominal de 1.25 MW a una velocidad de viento de 48 km/hr. En 1977 un aerogenerador canadiense tipo Darrieus de 200 Kw. se conectó a la red de las islas Magdalena en el golfo de San Lorenzo, representando cerca del 1% de la capacidad instalada en dicha red. En 1979, también como parte del programa de la NASA entró en operación una unidad de 1.5 MW. En

Dinamarca, la escuela Tvind implantó un aerogenerador de 2 MW de dos aspas, con un costo de 350 mil dólares (1979), (Alonso y Rodríguez, 1985).

1,4 Desarrollo Científico Y Tecnológico Eoloeléctrico.

Poul la Cour (1846-1908), que tuvo originalmente una formación como meteorólogo, fue el pionero de las modernas turbinas eólicas generadoras de electricidad. Poul la Cour fue uno de los pioneros de la moderna aerodinámica, y construyó su propio túnel de viento para realizar experimentos. La Cour se preocupaba del almacenamiento de energía y utilizaba la electricidad de sus turbinas eólicas para producir electrólisis y obtener así hidrógeno para las lámparas de gas de su escuela.

F.L. Smidth. Construyó una máquina tripla de la isla de Bogó, fabricada en 1942, ya se parece más a una máquina "danesa". Formaba parte de un sistema eólico-diesel que regía el suministro eléctrico de la isla. Probablemente hoy discutiríamos el aspecto que tiene la torre de hormigón, pero esta máquina jugaba un papel realmente importante en el programa de estudio de la energía eólica en Dinamarca. En 1951, el generador de CC fue sustituido por un generador asíncrono de CA (corriente alterna), haciendo que esta segunda turbina generase así CA.

Johannes Juul y las turbinas Vester Egeborg. El ingeniero Johannes Juul fue uno de los primeros alumnos de Poul la Cour en sus cursos para "electricistas eólicos" en 1904. En los años 50, J. Juul llegó a ser un pionero en el desarrollo de los primeros aerogeneradores en el mundo de corriente alterna en Vester Egesborg, Dinamarca. El innovador aerogenerador de Gedser de 200 Kw. fue construido en 1956-57 por J. Juul para la compañía eléctrica SEAS en la costa de Gedser, en la parte sur de Dinamarca.
<http://www.windpower.org>

1,5 Crisis De Petróleo De 1979,

Años antes de la crisis energética de 1979, el desarrollo de proyectos sobre el aprovechamiento de las energías renovables, estaba muy limitado, ya que el precio del petróleo era muy barato, y la obtención de energía eléctrica a partir del viento, resultaba muy costoso, la tecnología eoloeléctrica no era suficiente para competir con los

hidrocarburos, estas causas detuvieron las investigaciones científicas para el mejoramiento de las tecnologías eoloeléctricas. Durante la crisis petrolera de 1979, de acuerdo a la ley de la oferta y la demanda; como el petróleo estaba muy escaso, los precios se dispararon al máximo, causando gran estrago en la economía de los países importadores de petróleo.

Después de la primera crisis del petróleo de 1973, muchos países despertaron su interés en la energía eólica. En Dinamarca, las compañías de energía dirigieron inmediatamente su atención a la construcción de grandes aerogeneradores, al igual que sus homólogos de Alemania, Suecia, el Reino Unido y los EE.UU. En 1979 construyeron dos aerogeneradores de 630 Kw., uno con regulación por cambio del ángulo de paso, y el otro de regulación por pérdida aerodinámica. En muchos sentidos corrieron la misma suerte que sus colegas del extranjero, que eran incluso de mayor tamaño: Las turbinas resultaron extremadamente caras y, en consecuencia, el alto precio de la energía devino un argumento clave en contra de la energía eólica.
<http://www.windpower.org>

Los países del mundo se vieron en la necesidad de buscar nuevas fuentes de energías que sean rentables, mas baratas y sobre todo que perduren a través del tiempo, y que además no sean contaminantes. Después de la crisis energética se dio gran importancia al aprovechamiento de las energías renovables, el precio por Kw. de energía eléctrica paso de cientos de dólares, hasta unos cuantos dólares actualmente. Las tecnologías de aprovechamiento energético han mejorado en gran escala, en eficiencia de captación, duración y en competitividad sobre las fuentes energéticas convencionales. Las tecnologías eoloeléctricas son de las más económicas del mercado, el precio por Kw. eólico es muy parecido al precio del Kw. convencional. Actualmente los sistemas eoloeléctricos tienen una vida útil de 25 a 30 años en promedio y los sistemas fotovoltaicos tienen una vida útil de 30 a 35 años aproximadamente.

1,6 Aerogeneradores Modernos.

Dinamarca dispone (en el 2003) de alrededor de 3.000 MW de energía eólica, suministrados aproximadamente por unos 5.500 aerogeneradores. Un 80% de esta potencia pertenece a propietarios particulares y cooperativas. El parque eólico de Rejsby Hede consta de 40 turbinas de Bonus Energy, de 600 Kw. cada una. El parque fue construido en 1995, en Tonder, en la parte sur de Jutlandia. Con un total de 24 MW, fue en su momento el mayor parque eólico de Dinamarca.

Actualmente, el mayor parque eólico en tierra de Dinamarca es el de Syltholm, en la parte sur de la isla de Lolland. Este parque consta de 35 turbinas NEG Micon 750 Kw., lo que hace una potencia total de 26,25 MW.

El prototipo de la turbina NEG Micon 2 MW, fue puesto en funcionamiento en agosto de 1999. Posee un rotor de 72 m de diámetro. En este caso (Hagesholm, Dinamarca) está montado sobre una torre de 68 metros. Desde el exterior se parece mucho a una máquina NEG Micon 1500 Kw. , por lo que tendría que ver la turbina en su posición de parada (con las palas orientadas fuera del viento) para notar la diferencia: las palas del rotor pueden variar su ángulo de paso, dado que la máquina dispone de regulación activa por pérdida aerodinámica, mientras que su prima de 1500 Kw. es de regulación pasiva por pérdida aerodinámica.

El prototipo de la turbina Bonus 2 MW, fue puesta en funcionamiento en otoño de 1998. Tiene un diámetro de rotor de 72 metros. En este caso (Wilhelmshaven, Alemania), está montado sobre una torre de 60 m. La turbina está pensada para aplicaciones marinas, y dispone de un control de potencia "Combi Stall" (una marca registrada de Bonus para la regulación activa por pérdida aerodinámica). Esta máquina se parece bastante a las máquinas Bonus de 1 MW y 1,3 MW.

2. Condiciones Meteorológicas Para El Establecimiento De Una Estación Eoloeléctrica.

2,1 El Viento.

El viento es el desplazamiento horizontal de las masas de aire, causado por las diferencias de presión atmosférica, atribuidas a la variación de temperatura sobre las diversas partes de la superficie terrestre. Es decir, las distintas temperaturas existentes en la tierra y en la atmósfera, por la desigual distribución del calentamiento solar y las diferentes propiedades térmicas de las superficies terrestres y oceánicas, producen corrientes de aire. La energía eólica es una forma indirecta de energía solar, puesto que son las diferencias de temperatura y de presión inducidas en la atmósfera por la absorción de la radiación solar las que ponen en movimiento los vientos. Se calcula que un 2 % de la energía solar recibida por la Tierra se convierte en energía cinética de los vientos. La cantidad de energía correspondiente es enorme: unos 30 millones de TWh por año, ósea, 500 veces el consumo mundial de energía en 1975. Incluso teniendo en cuenta que sólo el 10 % de esta energía se encuentra disponible cerca del suelo, el potencial sigue siendo considerable; así, es difícil concebir en la actualidad la explotación de una parte notable de este potencial.

2,2 Circulación Del Viento En La Atmósfera.

Las masas de aire más caliente tienden a subir y en su lugar se ubican masas de aire más denso y frío. Lo que caracteriza a los vientos son la intensidad y la dirección. La primera se mide según la escala de Beaufort que va desde el 0 (calma absoluta) hasta el 12 (huracán).

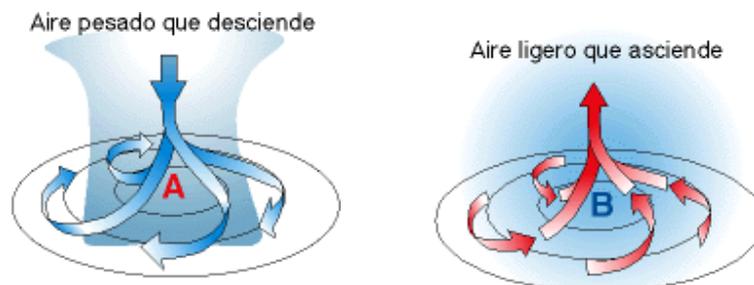


Fig. 2.1 En las áreas anticiclónicas la presión es superior a lo normal a diferencia de las ciclónicas donde la presión es inferior a lo normal.

La intensidad del viento es directamente proporcional a la diferencia de presión entre el lugar de origen del viento y el de su llegada. Por otra parte la dirección está relacionada con la rotación terrestre. Los vientos se denominan según la dirección desde la que soplan, los vientos de las latitudes medias se califican como dominantes del oeste, muy modificados por las variaciones ciclónicas y anticiclónicas que provocan cambios diarios de las direcciones.

El aire nunca se encuentra en absoluta calma, porque en las áreas ciclónicas se forma una especie de vacío a donde acuden las masas de aire vecinas que están a presión más alta. Son estos movimientos de masas de aire los llamados "vientos".

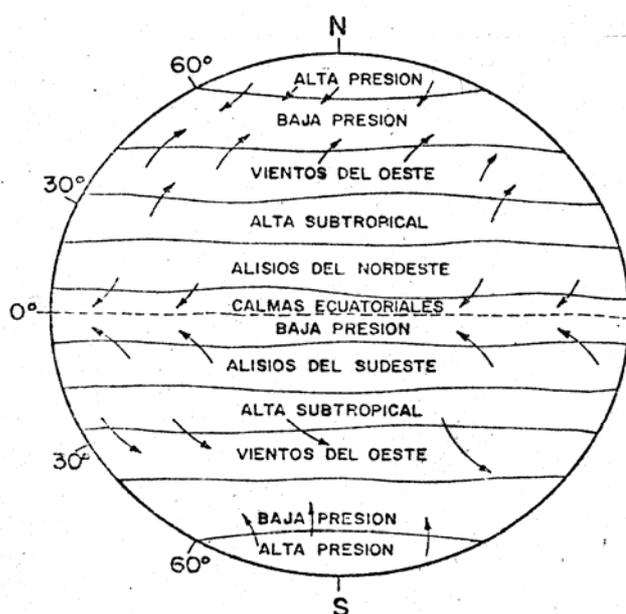


Fig. 2.2 Circulación general de la atmósfera.

El aire ecuatorial calentado asciende y se desvía hacia los polos, se enfría a medida que avanza y desciende a la tierra a una latitud aproximada de 30° Norte y Sur. Parte de esta corriente retorna hacia la región de baja presión constante en el Ecuador, mientras que el resto sigue su camino hacia el polo, pero a nivel del suelo. Ese aire enfriado, que llega hasta los límites del polo, se encuentra con otro más denso, que se separa del polo hasta una latitud de 60°, y se eleva sobre el mismo. Este proceso indica que además de la región de baja presión existente en el Ecuador y las de elevada presión en los polos, hay círculos de presión intermedia: uno, de alta presión, alrededor

de la latitud de 30°, determinado por el aire descendente; y otro, de baja presión, alrededor de la latitud de 60°. (Curso introductorio de energía eólica FIRCO 2005).

2,3 Evaluación Del Recurso Eólico.

La potencia del viento es proporcional al cubo de su velocidad, por ejemplo como primera estimación, se supone que el aire tiene una densidad promedio de 1 Kg/m³. Entonces la relación potencia área puede calcularse para diferentes velocidades del viento (Cuadro 1).

VELOCIDAD	POTENCIA
m/s	KW/m ²
0	0
5	0,06
10	0,50
15	1,68
20	4,00
25	7,81
30	13,50

Cuadro 2.1 Estimación de la potencia eólica por área (Perpendicular al Viento).

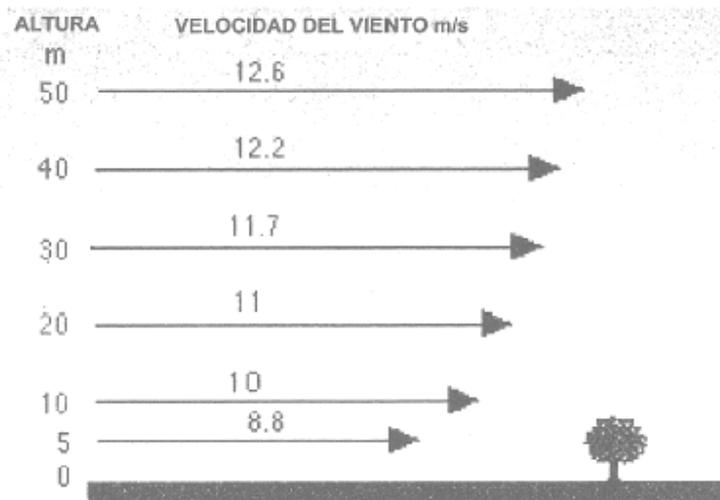


Fig. 2.3 El gradiente eólico. Los cálculos son suponiendo una velocidad de 10 m/s a 10 m de altura y ($a = 1/7$).

Como se puede observar; cuando la velocidad del viento se duplica, la potencia se incrementa ocho veces mas, además la potencia a 50 m es 125 veces la potencia a 5 m. a altas velocidades del viento hay mucha energía y por lo general los aerogeneradores no están diseñados para altas velocidades, por lo que a altas velocidades podrían ocurrir daños muy severos, las altas velocidades del viento por lo general se presentan en las tormentas. Todos los generadores tienen o deben tener un

mecanismo de control para detener el funcionamiento de rotación durante las tempestades y en altas velocidades del viento. La potencia del viento también cambia con la altura, a este hecho se le conoce como gradiente eólico. Por lo general, hay un punto de equilibrio entre el costo de torres más altas y el incremento de la potencia eólica. (Curso introductorio de energía eólica FIRCO 2005).

2,4 Medición De La Velocidad Del Viento.

El aparato empleado para medir la dirección del viento es la veleta que marca la dirección. La velocidad del viento se mide con el **anemómetro**, que es un molino de tres brazos, separados por ángulos de 120°, que se mueve alrededor de un eje vertical. Los brazos giran con el viento y permiten medir su velocidad. Hay **anemómetros** de reducidas dimensiones que pueden sostenerse con una sola mano que son muy prácticos aunque menos precisos.

Grados Beaufort	Nudos		m/s		km/h		Descripción	Presión s/superficie Plana en daN/m ²	
	de	a	de	a	de	a		de	a
0	<	1	0	0.2	<	1	Calma		
1	1	3	0.3	1.5	1.0	3.0	Ventolina	0.0	0.3
2	4	6	2.1	3.1	7.4	11.1	Brisa Suave	0.6	1.2
3	7	10	3.6	5.1	13.0	18.5	Brisa Leve	2	3
4	11	16	5.7	8.2	20.4	29.7	Brisa Moderada	4	9
5	17	21	8.8	10.8	31.5	38.9	Viento Refrescante	10	15
6	22	27	11.3	13.9	40.8	50.0	Viento Fuerte	17	25
7	28	33	14.4	17.0	51.9	61.2	Viento muy Fuerte	27	38
8	34	40	17.5	20.6	63.0	74.1	Temporal	40	55
9	41	47	21.1	24.2	76.0	87.1	Temporal Fuerte	58	76
10	48	55	24.7	28.3	89.0	101.9	Temporal muy Fuerte	79	104
11	56	63	28.8	32.4	103.8	116.8	Tempestad	108	137
12	64	71	32.9	36.5	118.6	131.6	Huracán	141	174
13	72	80	37.1	41.2	133.4	148.3		179	220
14	81	89	41.7	45.8	150.1	164.9		226	273
15	90	99	46.3	51.0	166.8	183.5		279	338
16	100	108	51.5	55.6	185.3	200.1		344	402
17	109	118	56.1	60.7	202.0	218.7	Ciclón	409	480

Cuadro 2.2 Escala de vientos Beaufort.

Escala de vientos Beaufort

Fue diseñada en 1805 por el hidrógrafo irlandés Francis Beaufort. Marineros y meteorólogos la utilizan para indicar la velocidad del viento. Se ha establecido una escala de velocidades de vientos llamada Beaufort que las clasifica en 17 categorías.

Las últimas columnas indican la presión media en daN/m^3 sobre superficies planas dispuestas perpendicularmente al viento calculado como $p = 0.13 V^2$, siendo V en m/s . Las mayores velocidades del viento se encuentran en los ciclones tropicales y cerca de los 45° de altitud sur, (de 150 a 200 km/h).

2,5 Variaciones De La Velocidad Del Viento.

2, 5,1 Fenómenos Diarios Y Estacionales.

Las variaciones de la velocidad del viento con respecto a la altitud, depende de la topografía del terreno, por el cual se mueven las masas de aire. La velocidad del viento en un mapa de altura es proporcional a la proximidad de las isohipsas, se deduce que en los mapas de altura, la velocidad del viento esta muy asociada al gradiente o variación de temperaturas a lo largo del mapa: cuanto mayor es el gradiente de temperaturas en un mapa isobárico, mas fuerte es el viento. Como dicho gradiente es en general mas intenso en niveles altos también es mayor allí la velocidad del viento.

Por otra parte, como la variación de la velocidad del viento de un nivel a otro debe estar lógicamente compensado con movimientos verticales del aire y por tanto también con la diferente variación de temperaturas en la vertical. La diferencia vectorial del viento dentro dos niveles isobáricos se llama por lo meteorólogos "viento térmico" debido a su relación con las temperaturas. (www.meteored.com).

2,5.2 Turbulencias

Las turbulencias eólicas, dependen del relieve del sitio y de las características del entorno de la estación eoloeléctrica, por lo tanto se recomienda que los sistemas eoloeléctricos se establezcan en zonas despejadas, lejanas a edificios y plantaciones forestales o de frutales.

2.5.3 Ráfagas.

Las ráfagas son difíciles de pronosticar, para un mejor estudio sobre la periodicidad de estos fenómenos, se requiere de un registro periódico de por lo menos 20 años atrás. Las ráfagas son fenómenos instantáneos, de una duración de solo unos segundos, esta corta duración es suficiente para ocasionar estragos o la destrucción de la unidad eoloeléctrica.

2, 5,4 Variaciones Estacionales.

Las variaciones estacionales del potencial eólico depende esencialmente de la localización del sitio, y se pueden obtener a través de una base de datos meteorológica, es posible predecir estas variaciones. Algunas estadísticas revelan que el periodo más ventoso del año es de Septiembre a Enero. Pero estas estadísticas no siempre son las mismas, ya que también varían de acuerdo a la altitud del lugar. Por ejemplo, en zonas con elevación promedio de 1800 m.s.n.m. y en zonas templadas, durante la temporada de invierno, se tiene el menor potencial eólico. Las zonas costeras, presentan un potencial eólico uniforme durante todo el año, en México se tienen dos regiones costeras con un gran potencial eólico, las mas conocidas son el istmo de Tehuantepec en Oaxaca y la costa de la península de Yucatán.

2,6 Determinación De Energía Y Potencia Eólica.

Trabajo se define por la fuerza ejercida sobre un objeto a través de una distancia. Los objetos en movimiento como las turbinas eólicas las cuales realizan un trabajo mecánico y para los cambios de posición requieren de energía. Por lo tanto, el trabajo y la energía tienen las mismas unidades.

Trabajo = Fuerza X Distancia

$$T = F \times D, \text{ Joule (J) = Newton (N) X metro (m)} \quad \text{Ec. 01}$$

Potencia = Energía / tiempo, $P = \text{Energía}/\text{tiempo}$

$$\text{Watt} = \text{Joule}/\text{Secund.}, \quad \text{Ec. 02}$$

La potencia del viento en Watts esta dada por:

$$P = 0.5 \rho V^3 A \quad \text{Ec. 03}$$

Donde:

A = Área del rotor.

r = densidad del aire, Kg/m³.

V = Velocidad del viento, m/s.

La densidad del aire cambia con la presión de la elevación. Por cada 1000 msnm la presión se reduce un 10%. El coeficiente de potencia de un turbina eólica se obtiene al dividir la potencia de la turbina entre la potencia eólica.

$$C_p = P_r/P \quad \text{Ec. 04}$$

El coeficiente de potencia de una turbina eólica depende del tipo de rotor, de la solidez del mismo y varia con relación a la velocidad de punta. La velocidad de punta al extremo del aspa dividida por la velocidad del viento.

$$I = WR/V \quad \text{Ec. 05}$$

Donde:

W = Velocidad angular del rotor, radianes s/s

R = radio del rotor, m.

2,6,1 Gradiente Eólico.

La fricción reduce la velocidad del viento cerca de la superficie. El cambio de la velocidad del viento con la altura, conocido como gradiente eólico, se ha determinado en diferentes condiciones atmosféricas. La velocidad del viento a otras alturas puede aproximarse a una ley de potencia.

$$V = V_o (H/H_o)^a \quad \text{Ec. 06}$$

Donde:

V_o = Velocidad media del viento

H_o = Altura de velocidad del viento conocida V_o

H = altura.

El exponente (a) es de alrededor de 1/7 en condiciones atmosféricas estables (la temperatura decrece con la altura), aunque varia de acuerdo con el terreno y las condiciones atmosféricas.

2,7 Determinación Del Potencial Eólico En Localidades Para Bombeo Eólico De Agua.

Cuando se tienen velocidades del viento de 11 a 14.5 Km. /hr., en el mes mas bajo, es costeable la implementación de molinos de viento o aerogeneradores. En México el recurso eólico es como sigue: vientos del sureste durante el otoño e invierno en la región del norte, vientos alisios durante el verano provenientes del noreste en la región central, vientos del norte durante el otoño-primavera en el sur del istmo de Tehuantepec, y vientos del este, noreste y norte en la costa del Caribe (Curso introductorio de energía eólica FIRCO 2005).

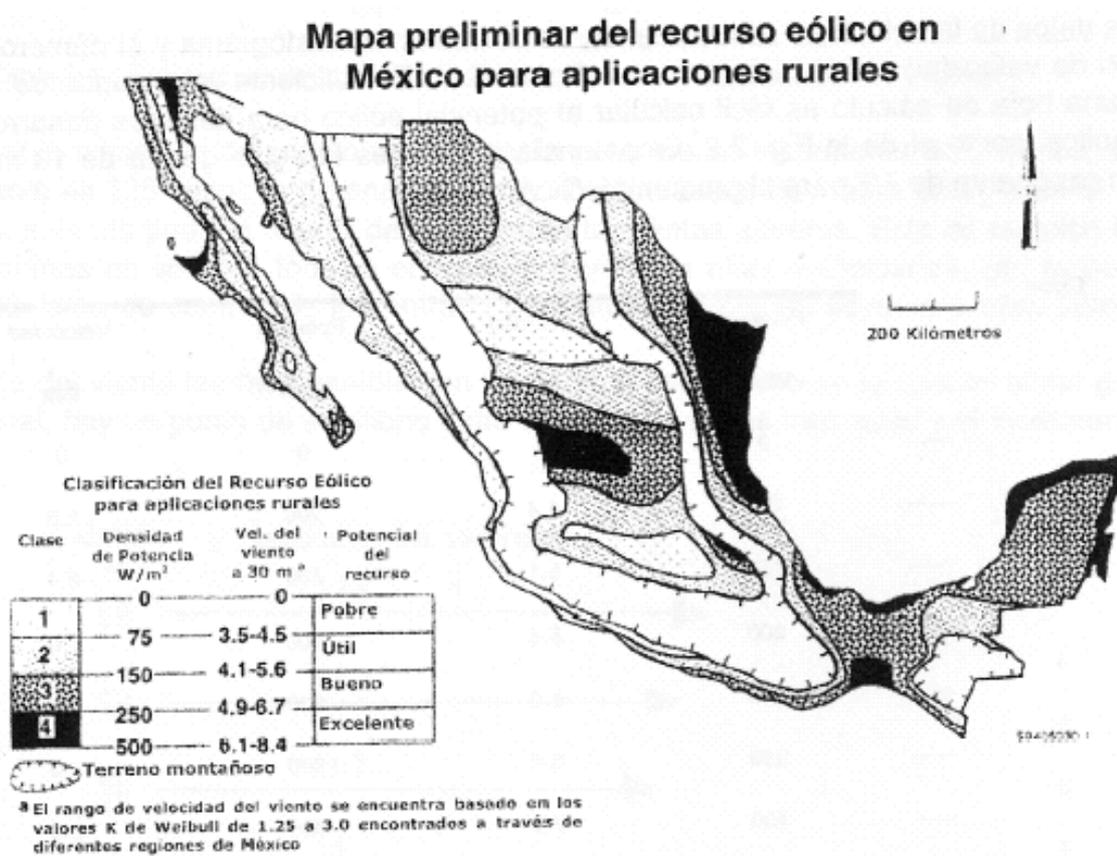


Fig. 2.4 Mapa de recurso eólico para aplicaciones remotas y pequeñas turbinas eólicas.

Para determinar el potencial eólico de un lugar dado para fines de aprovechamiento energético eólico, deben establecerse los valores de densidad de potencia media en W/m^2 y de energía en $Kw. /m^2$, para una superficie virtual de un metro cuadrado, a 10 m de altura sobre el nivel del suelo. Se debe tener en cuenta que el contenido energético del viento es mayor cuanto mayor es la altura sobre la superficie

terrestre (debido al efecto de la rugosidad del terreno). El contenido energético del viento es función de la distribución espectral de la velocidad del viento en el intervalo de tiempo considerado (Generalmente se mide durante un mes), misma que puede considerarse relativamente estable salvo por variaciones de tipo estacional (Alonso y Rodríguez 1985).

3. Electricidad Y Magnetismo.

3,1 La Naturaleza De La Electricidad

La electricidad es el flujo de electrones de átomo a átomo en un conductor. Para entender esto, vamos a observar a las pequeñas unidades de la materia – el átomo. (Fig. 3.1). Todos los átomos tienen partículas llamadas electrones en orbita alrededor del centro de los protones.

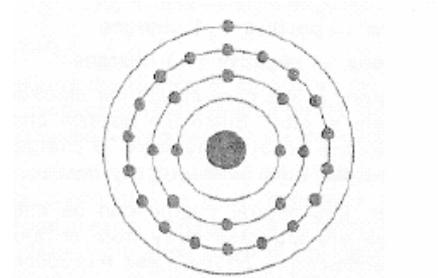
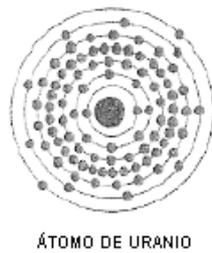
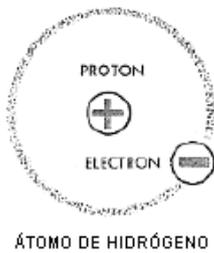


Fig. 3.1 Toda la materia se compone de átomos

Fig. 3.2 Estructura del átomo de cobre

El átomo de cobre contiene 29 protones y 29 electrones. Los electrones son distribuidos en 4 orbitas o anillos. Pero la nota de que el anillo exterior tiene solamente un electrón. Es el secreto de un buen conductor de electricidad. Los elementos que tiene menos de cuatro electrones en su última órbita, generalmente se consideran como buenos conductores.

3,2 ¿Qué Es La Electricidad?

Como se ha visto que los átomos contienen partículas llamadas protones y electrones. Estas partículas tienen una fuerza potencial

- Protones = Cargas Positivas (+)
- Electrones = Cargas Negativas (-)

Los protones en el centro atraen los electrones y los mantienen en órbita. Desde que las cargas positivas de los protones son igual a la carga negativa de los electrones, el átomo es eléctricamente neutro, sin embargo, esta carga neutral puede ser alterada si los electrones son atraídos lejos de un átomo, los átomos llegan a ser de carga positiva

y la colección de electrones tomados lejos llegan a ser de carga negativa. En resumen se tiene que:

- los electrones se pueden extraer de sus átomos en algunos materiales.
- La fuerza como la fricción es tan necesaria para ocasionar que los electrones salgan de sus átomos.
- Las cargas iguales se repelen y las cargas diferentes se atraen.

Los conductores como el alambre de cobre contienen billones de átomos con electrones

3,3 La Corriente Eléctrica.

La corriente eléctrica se constituye por un flujo de electrones móviles que fluyen a través de un conductor y es medida en amperes. Un Amper es una corriente eléctrica de 6.28 billones de billones de electrones que pasan por un cierto punto a través de un conductor en un segundo. (Fig. 3.3). Así la corriente es la tasa del flujo de electrones y es medida en amperes o electrones por segundo; esto lo podemos comparar con la hidráulica, donde el flujo de agua en la Tubería es medida en galones por minuto.



Fig. 3.3 Flujo de electrones en un conductor. FIG. 3.4 Medición de la corriente eléctrica.

La unidad de intensidad de corriente eléctrica es el amperio. El amperio – en el sistema mks, es la unidad de intensidad de corriente eléctrica se define en función de la fuerza que actúa sobre un conductor, por el que circula corriente y que esta situado en un campo magnético de la manera siguiente.

Un amperio es la corriente que, cuando circula por cada uno de los conductores rectos paralelos de longitud infinita y de sección recta despreciable, separados por una distancia de un metro, en el vacío, produce en cada conductor una fuerza de 2×10^{-7} Newton por metro de conductor.

Voltaje: El voltaje es la fuerza que impulsa al flujo de corriente en un conductor. Depende de las diferencias entre las cargas de cada uno de los conductores. El voltaje puede ser generado por el almacenamiento en una batería usando sustancias químicas o por un generador usando medios mecánicos. El voltaje es la fuerza potencial y puede existir aun cuando no se tenga un flujo de corriente en el circuito. Así el voltaje puede existir sin la corriente, pero la corriente no puede existir sin el impulso del voltaje. El voltaje es producido entre dos puntos cuando existe una carga positiva en un punto y una carga negativa en otro punto.

Unidad de fuerza electromotriz. Voltio. – La potencia en un circuito eléctrico es igual al producto de la fuerza electromotriz por la intensidad de la corriente. Una vez definido el amperio, se define ahora el voltio en función de la potencia.

Se define un voltio de fuerza electromotriz como la fem instantánea que actúa en un circuito cuando, con una corriente instantánea de un amperio, la potencia instantánea es un vatio.

Por tanto, se deduce que la potencia en un circuito eléctrico viene dada por la ecuación.

$$\text{Potencia} = ei \text{ vatios.}$$

Siendo e = Voltios, ei = Amperios.

El voltaje puede producirse por:

1. Acción química como sucede con los acumuladores.
2. por acción térmica como sucede con los termopares.
3. por inducción electromagnética.

Todas las grandes potencias eléctricas del mundo producen la fuerza electromotriz mediante la inducción magnética.

Resistencia: Todos los conductores ofrecen alguna resistencia al flujo de la corriente. La resistencia es causada por cada átomo, que resiste a la eliminación de un electrón debido a la atracción hacia el centro y por Colisiones de innumerables electrones y átomos como los electrones se mueven a través del conductor, Las colisiones crean resistencia y generan calor en el conductor. La unidad básica de

resistencia es el Ohm. Un ohm es la resistencia que permitirá el flujo de un Amper cuando el potencial sea de un volt.

La resistencia en los circuitos eléctricos también tiene que ver con las características del cable conductor, una de las características determinantes de la resistencia a la corriente, la determina la longitud de conducción. La longitud del cable conductor también interfiere en la resistencia, a mayor longitud, se tiene mayor resistencia; el tamaño del cable también interfiere, a menor tamaño, mayor es la resistencia en el conductor, la temperatura interviene en la resistencia en los circuitos eléctricos, a mayor temperatura se tiene mayor resistencia.

3,4 El Magnetismo.

El magnetismo es la ciencia que estudia los fenómenos atractivos y repulsivos producidos por los imanes y las corrientes eléctricas. ([Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2001](#)).

Los antiguos navegantes chinos, descubrieron que un pedazo de esa piedra tan peculiar, sujeta a una cuerda, se volvía siempre hacia el norte geográfico. Esas piedrecillas eran de mineral de hierro y los griegos la llamaron magnetita, debido a que se descubrieron cerca de Magnesia. ([Robert y Louis 1997](#)).

3,5 Teorías Del Magnetismo.

Para explicar exactamente que es el magnetismo y como ejerce un campo de fuerza, se describe a continuación en cualquiera de una de las dos teorías.

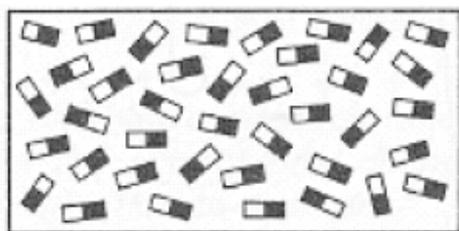


Fig. 3.5 Hierro desmagnetizado

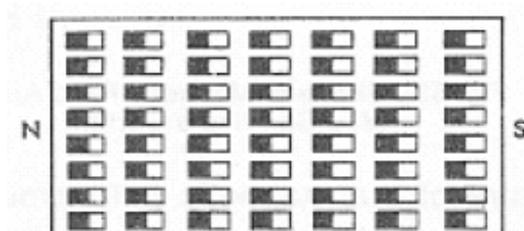


Fig. 3.6 Hierro magnetizado.

Primera teoría del magnetismo —Las partículas son alineadas.

La teoría No. 1 expresa que un imán se compone de un número muy grande de partículas pequeñas imantadas. Cuando una barra de hierro no se imanta, las partículas magnéticas pequeñas se arreglan de manera al azar. Pero cuando la barra de hierro llega a ser un imán, las partículas magnéticas se alinean para que sus efectos individuales se agreguen para formar en conjunto un imán fuerte.

La teoría No. 2 acerca del magnetismo con respecto al electrón. El electrón tiene un círculo de la fuerza a su alrededor, y cuando las órbitas de electrón se alinean en una barra de hierro para que los círculos de la fuerza se agregue junto a la barra de hierro, esta se imanta.

3,6 Los Imanes.

En la actualidad, un imán se define como un material o sustancia que posee la capacidad de atraer a otros materiales magnéticos, entre los cuales se encuentra el hierro, acero, níquel, cobalto y otros materiales magnéticos. La mayor fuerza de atracción, aparece en cada extremo de los imanes. A esas concentraciones de fuerza se les llama polos magnéticos; y cada imán tiene un polo Norte y un polo Sur. Las líneas de fuerza del polo norte van al sur a través del espacio y regresan al polo norte a través del imán, creando así **circuitos magnéticos**, los cuales pueden compararse con los circuitos eléctricos, del mismo modo que la fuerza magnética puede compararse con el voltaje y las líneas magnéticas con la corriente. (Robert y Louis 1997).

3,7 Materiales Magnéticos.

Una sustancia es un material magnético si, cuando se coloca en un campo magnético, se ejercen fuerzas sensibles sobre ella, estos materiales son denominados ferromagnéticos, y los cuales a su vez se clasifican en materiales diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos. Los materiales diamagnéticos, al ser colocados dentro de un campo magnético, se induce en el un momento magnético de sentido opuesto al campo, esta propiedad se debe a las corrientes eléctricas inducidas en los

átomos y moléculas individuales. Los materiales paramagnéticos suelen contener elementos de transición o lantánidos con electrones desapareados. La intensidad del momento magnético inducido varía inversamente con la temperatura. Al incrementar la temperatura, resulta más difícil alinear los momentos magnéticos de los átomos individuales en la dirección del campo ([Robert y Louis 1997](#)).

Las sustancias ferromagnéticas son las que, como el hierro, mantienen un momento magnético incluso cuando el campo magnético externo se hace nulo. ([Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2001](#)).

3,8 El Campo Magnético

Un campo magnético es generado por las numerosas líneas invisibles de fuerza magnética que rodean a un imán. Así la potencia de un campo magnético puede determinarse por su densidad de flujo, o por el número de líneas por pulgada cuadrada o centímetro cuadrado. Las investigaciones científicas han demostrado que la tierra actúa como un gigantesco imán, con sus polos cerca de los polos Norte y Sur geográficos. En la antigüedad, los científicos suponían que la brújula señalaba en dirección al norte, de modo que a ese punto lo llamaron Norte magnético. Mas recientemente se descubrió que el polo norte de la brújula es atraído por el polo sur de la tierra, de modo que el sur magnético del planeta se encuentra cerca del Polo Norte geográfico. La intensidad del campo magnético depende del tipo de material con el cual están hechos, así, se tiene que los imanes de hierro son temporales y de baja capacidad para retener su magnetismo. En cambio, los imanes permanentes son elaborados con aceros duros, como por ejemplo el alnico, el cual esta formado por una aleación de aluminio, hierro, níquel y cobalto, esta aleación le permite al imán un alto poder de retención magnética. Cuando la fuerza de magnetización se quita de una barra de alnico, el magnetismo residual es elevado ([Robert y Louis 1997](#)).

3,9 Leyes Del Magnetismo.

1. Polos iguales se repelen entre si y polos opuestos se atraen.

2. La potencia de un campo magnético es directamente proporcional a la densidad de las líneas de flujo.
3. La fuerza de atracción entre los imanes aumenta al disminuir la distancia que separa a los imanes.

3,10 El Electromagnetismo.

En el año de 1820, fue descubierta la relación entre la electricidad y el magnetismo, antes de este tiempo se creyó generalmente que el magnetismo existía solamente en el mineral de piedra imán o hierro que se encontró en la naturaleza. Y que no existía ninguna relación entre la electricidad y el magnetismo. Un experimento con una brújula y el flujo de una corriente a través de un alambre, revelo la relación entre electricidad y el magnetismo. Cuando la brújula se detuvo sobre el alambre, la aguja giraba en dirección transversal al alambre.

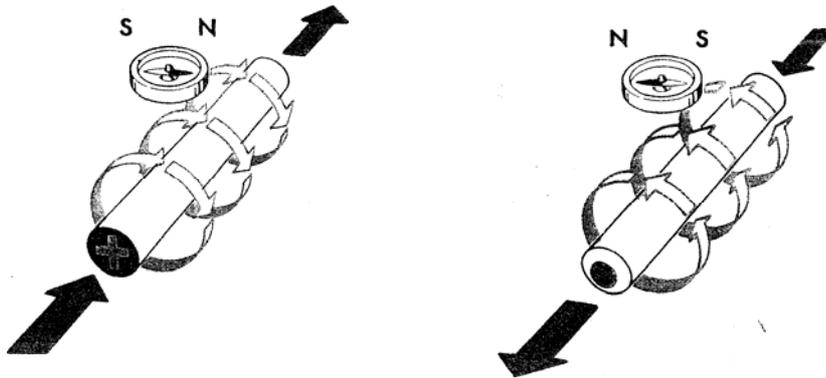


Fig. 3.7 y 3.8 (La orientación de la brújula cambia en el sentido del flujo de la corriente)

Desde que el único fenómeno conocido, capaz de atraer la aguja de una brújula era el magnetismo, era obvio que la corriente en el alambre creó un campo magnético alrededor del alambre. Cuando la corriente fluye a través de un alambre, la dirección de la corriente es indicada por el polo Norte de la brújula, la aguja de la brújula siempre tiende a alinearse a las líneas magnéticas o a las líneas de flujo, la corriente siempre entrara por el polo Sur y su salida será el polo Norte.

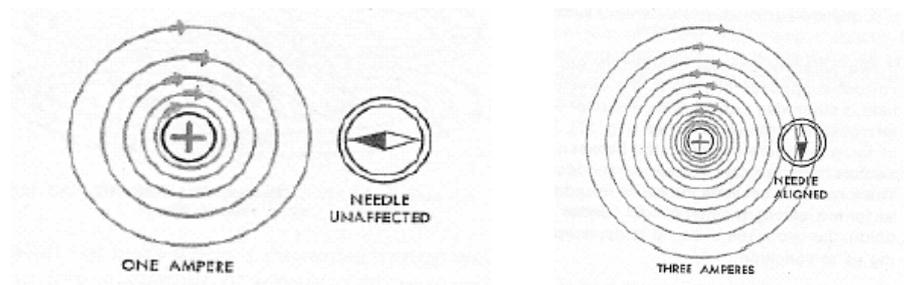


Fig. 3.9 y 3.10 La corriente es proporcional al campo magnético; a mayor corriente se crea un campo magnético mayor.

Dos o más conductores adyacentes aumentan el campo magnético, cuando todos los conductores conducen la corriente en la misma dirección, el efecto magnético aumenta como las líneas de cada uno de los conductores se unen y rodean a todos los conductores.

3,10,1 Electroimanes

Son dispositivos que se construyen con materiales de alta permeabilidad y por lo general se emplea el hierro dulce en la construcción. En un solenoide se inserta un núcleo de hierro dulce, lo que aumenta considerablemente la potencia del campo magnético. Las líneas magnéticas son concentradas en el área mas pequeña de sección transversal del núcleo y el hierro proporciona una trayectoria mucho mejor para las líneas magnéticas. La intensidad de la fuerza magnética en un electroimán, es directamente proporcional al número de vueltas de alambre y a la corriente en amperios que fluye a través del rollo.

3, 10,2 Inducción Electromagnética.

Cuando una bobina es movida a través de un campo magnético, se induce un voltaje en la bobina, este principio es llamado **Inducción Electromagnética**, y se define como la inducción de voltaje en una bobina que se mueve a través de un campo magnético. El voltaje inducido tiene polaridad negativa y positiva, la cual cambia constantemente, por cada media vuelta de giro de la bobina dentro de un campo magnético estático. En conclusión podemos decir: un voltaje puede ser inducido en una

bobina, atravesando un campo magnético y cuando existe movimiento relativo entre los dos. Cualquiera de los dos se puede mover, ya sea la bobina o el campo magnético. ([John Deere Company 1972](#)).

Ahora que hemos observado los factores que determinan la polaridad del voltaje inducido y la dirección de la corriente, vamos a considerar los factores que determinan la magnitud del voltaje inducido en una bobina. Estos factores son:

1. La fuerza del campo magnético.
2. La velocidad en la cuál las líneas de la fuerza magnética cruzan la bobina.
3. El número de bobinas que cruzan las líneas de la fuerza magnética.

Si el campo magnético se hace más fuerte, usando un imán más grande, más líneas de fuerza serán cortadas por el conductor en algún intervalo dado de tiempo y el voltaje inducido será más alto. Si el movimiento relativo entre la bobina y campo magnético se aumenta, más líneas de la fuerza se cortarán en un intervalo de tiempo dado y el voltaje inducido será más alto. Si el conductor recto de alambre es transformado en un rollo, que entonces se mueve a través del campo, todos los lazos del alambre están en serie y el voltaje inducido en total de los lazos se agregara para dar en conjunto un voltaje más alto. ([John Deere Company 1972](#)).

En resumen:

- ◆ Un campo magnético mas fuerte = mayor voltaje inducido.
- ◆ Movimiento relativo mas rápido = mayor voltaje.
- ◆ Mas bobinas en movimiento = Mayor voltaje.

Métodos de inducción de voltaje:

Aquí se mencionan tres métodos de inducción, por los cuales el voltaje puede ser generado por inducción electromagnética.

- ◆ Generador de Voltaje
- ◆ Autoinducción.

◆ Mutua inducción.

Generador de voltaje: El generador de corriente directa opera por el movimiento de bobinas a través de un campo magnético estacionario el cual produce voltaje y corriente. Al aplicar la regla de la mano derecha para el voltaje inducido en ambos lados del lazo de la bobina, el flujo de la corriente se ve en la dirección indicada, y de los voltajes inducidos en la bobina se obtienen una intensidad de voltaje, el cual aparece en los dos segmentos conectados al conmutador de las terminales del alambre.

En las figuras 3.11 y 3.12 se muestra el diseño básico de un generador de c.d. donde una simple bobina es rotada entre los polos N y S de un campo magnético (Fig. 3.11). El flujo de la corriente por las escobillas que cabalgan sobre el conmutador hacia el circuito externo. La Fig. 3.12 muestra el tipo más básico de generar corriente alterna por medio de un generador actual con la rotación del campo magnético cruzando las bobinas estacionarias que son montados en la moldura del generador. ([John Deere Company 1972](#)).

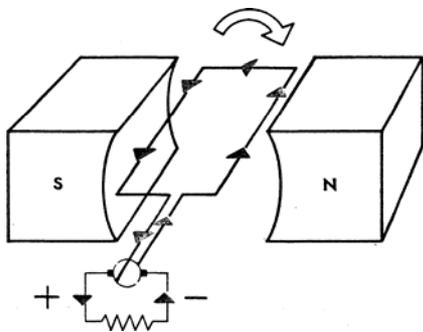


Fig. 3.11 - generador básico de C.D.

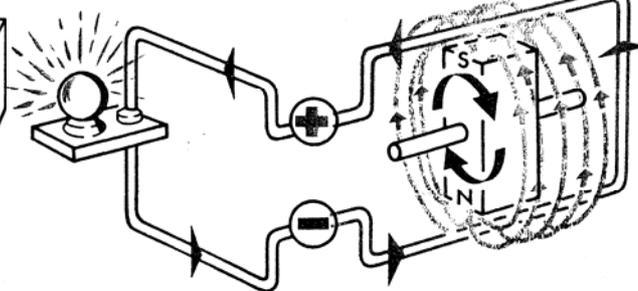


Fig. 3.12 - generador básico de C.D.

En 1831 el científico e inventor británico Michael Faraday descubrió el principio de la inducción. Si una bobina se mueve a través de un campo magnético, o si está situado en las proximidades de otra bobina por la cual circula una corriente de intensidad variable, se establece o se induce una corriente eléctrica en la primera bobina. Faraday se preguntó: si la electricidad produce magnetismo, ¿Puede el magnetismo producir electricidad? Gracias a las investigaciones y descubrimientos de Faraday, se desarrolló la dinamo eléctrica, por lo que se le conoce como el padre de la

dinamo eléctrica. Con el fin de producir una corriente eléctrica, debe existir un campo magnético, un conductor y movimiento relativo entre el campo y el conductor (Robert y Louis 1997).

Ley de Lenz: “La corriente inducida en el conductor forma un campo magnético en torno a el, que se opone al campo fijo o es repelido por este”.

La oposición al conductor en movimiento debe existir y es preciso aplicar alguna forma de fuerza mecánica para vencer esa oposición.

AUTOINDUCCIÓN: La autoinducción; es la inducción de un voltaje por la conducción de corriente en una bobina, cuando la corriente en la bobina cambia por si misma, se usa en la autoinducción unida al campo; en ves del campo magnético creado por un cambio de corriente a través del conductor por si mismo. Esto es visto al inducir un voltaje en la bobina. Por lo cual, el voltaje es autoinducido. La razón por la que el voltaje es inducido en una bobina al conducir una corriente cambiante es esta: Desde que la corriente crea un campo magnético en forma de círculos concéntricos alrededor de la bobina el cual se ensancha y se contrae como la corriente se incrementa o decremента, estos círculos magnéticos cortan a través del embobinado y por lo cual se induce un voltaje en la bobina. Desde que existe movimiento relativo entre el campo y el conductor, la condición necesaria para la inducción de voltaje ha sido reunida. (John Deere Company 1972).

Autoinducción en una bobina

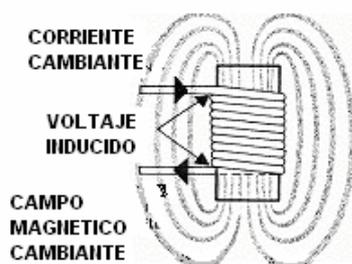


Fig. 3.13 Autoinducción en una bobina

Cuando la corriente se incrementa en una bobina la expansión del campo magnético cruzara algunas o todas las bobinas vecinas; así inducir un voltaje en los

devanados. Un rollo de alambre desnudo sobre un centro de hierro es a menudo llamado un inductor y posee la propiedad de inductancia la cual genera un voltaje para ser inducido en una bobina cuando la corriente es cambiante. La polaridad de un voltaje inducido se opondrá al cambio de la corriente que produjo. “El cambio en la corriente” Se refiere a la corriente que es cualquier corriente creciente o decreciente.

MUTUA INDUCCION.

Si el flujo magnético cambiante por el flujo de la corriente en una bobina cruza los vientos de un segundo devanado, el voltaje se inducirá en la segunda bobina. Esta inducción de voltaje en la bobina es porque del cambio de la corriente en la siguiente bobina es llamada inducción mutua. Fig. 3.14 ilustra los principios de la inducción mutua en un circuito. Cuando el interruptor se cierra la corriente se aumentara en el devanado primario, y la expansión de las líneas de fuerza cruzaran el secundario, causando un voltaje para ser inducido en el secundario.

Mutua Inducción en las bobinas

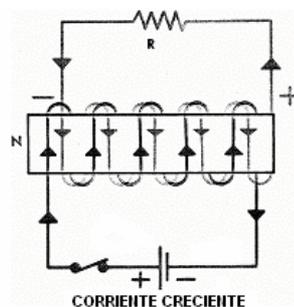


Fig. 3.14 mutua Inducción en devanados primario y secundario.

Similarmente, cuando el interruptor se abre, la disminución de corriente demandada en el devanado primario, genera la inducción de un voltaje en el secundario. El devanado secundario llega a ser la fuente de voltaje y suministrara corriente a la resistencia R (John Deere Company 1972).

RESUMEN: INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.

En resumen:

- ◆ La inducción electromagnética es la inducción de voltaje en una bobina por el movimiento a través de un campo magnético.
- ◆ Una bobina debe cruzar el campo, no en movimiento paralelo a este.
- ◆ La bobina y el campo debe estar en movimiento en relación el uno al otro
- ◆ Movimiento relativo mas rápido = mas voltaje inducido.
- ◆ Mas bobinas en movimiento = mas voltaje.
- ◆ Un campo magnético fuerte = mas voltaje.
- ◆ Tres maneras de inducción de voltaje son: generador de voltaje, autoinducción y mutua inducción.
- ◆ El voltaje generado por movimiento relativo es usado en generadores y alternadores.
- ◆ La autoinducción crea su propio voltaje por un cambio de corriente en el conductor (como en los dos vientos de los rollos de ignición).

3,11 El Alternador.

Básicamente un alternador es un generador que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. Por lo tanto un alternador es un generador de c.a. la diferencia entre un alternador y un generador es en la manera en que este rectifica la corriente alterna a corriente directa por su sistema. El alternador realiza esta conversión electrónicamente usando un puente rectificador que incorpora típicamente seis diodos semiconductores. El alternador es generalmente mas compacto que un generador y puede suplir mayor cantidad de corriente a bajas R.P.M. En años más recientes ha sido más usado en accesorios electrónicos a bajas o pocas R.P.M. El alternador puede suplir mejor estas salidas y por esta razón los circuitos de carga de c.a. son los más usados hoy en día. En los alternadores automotores modernos se emplean electroimanes con núcleos de hierro dulce, esto crea un campo magnético poderoso, por lo tanto esta diseñado para generar corriente eléctrica a bajas R.P.M.

Los principios fundamentales de funcionamiento de un alternador es similar al de un generador, en el alternador se tiene un campo magnético giratorio, el cual se mueve

en el interior de una bobina. Por lo tanto para producir corriente eléctrica debe existir un campo magnético, un conductor y movimiento relativo entre el campo y el conductor. Un generador es un dispositivo que transforma la energía mecánica en energía eléctrica, la potencia del voltaje inducido en una bobina giratoria depende de las numerosas líneas magnéticas de fuerza, a las que corta la bobina y la velocidad a la cual el rotor se mueve a través del sistema de bobinas.

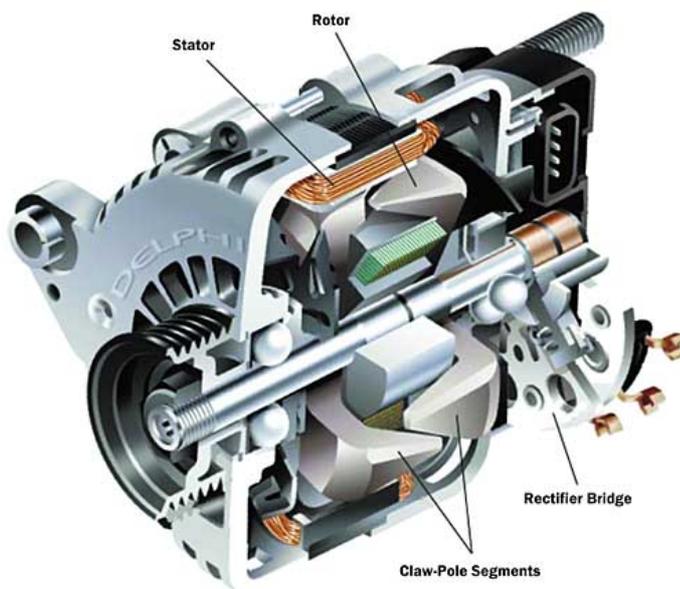


fig. 3.15 partes principales en un alternador automotor moderno.

Los alternadores tienen poca aplicación en los sistemas eolieléctricos, ya que los aerogeneradores trabajan con bajas velocidades, y los alternadores están diseñados para generar corriente eléctrica a velocidades más altas.

INDUCCION DE VOLTAJE EN UN ALTERNADOR.

La potencia del voltaje inducido en una bobina giratoria depende de:

1. El número de líneas magnéticas de fuerza a las que corta la bobina y
2. La velocidad a la cual el conductor se mueve a través del campo.

Cuando un conductor simple atraviesa en un segundo 10^8 de líneas magnéticas se produce un voltaje de tensión eléctrica. Para aumentar el voltaje se deben devanar muchas vueltas de alambre en la armadura y así mismo aumentando la velocidad de

rotación. La relación del voltaje producido puede expresarse mediante la siguiente relación matemática.

$$E = \frac{\Phi N}{10^8} \quad \text{Ec. 07}$$

En donde, **E** es igual al voltaje inducido.

ϕ Equivale a las líneas de flujo magnético.

N Representa las revoluciones por segundo

Generación de voltaje.

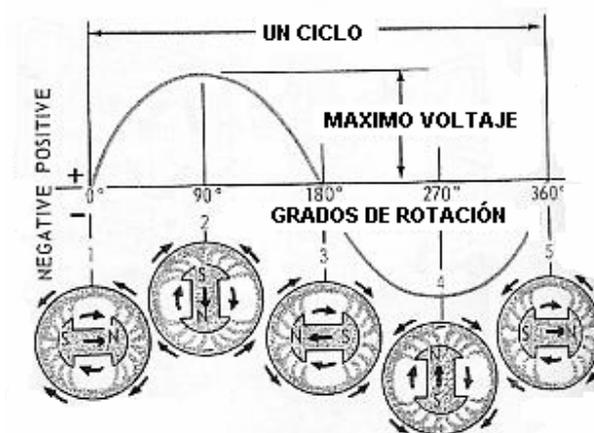


Fig. 3.16 Partes del voltaje generado durante cada revolución.

La figura 3.16 muestra las diferentes posiciones del rotor, rotando a una velocidad constante. Los picos de la curva muestran la magnitud del voltaje el cual es generado en la bobina a las revoluciones del rotor trifásico, las bobinas están distanciadas a 120°, y conectadas en delta. Esta configuración permite en los alternadores generar mas corriente eléctrica a bajas velocidades, el voltaje generado en esta configuración es menor y mayor cuando las bobinas están conectadas en estrella.

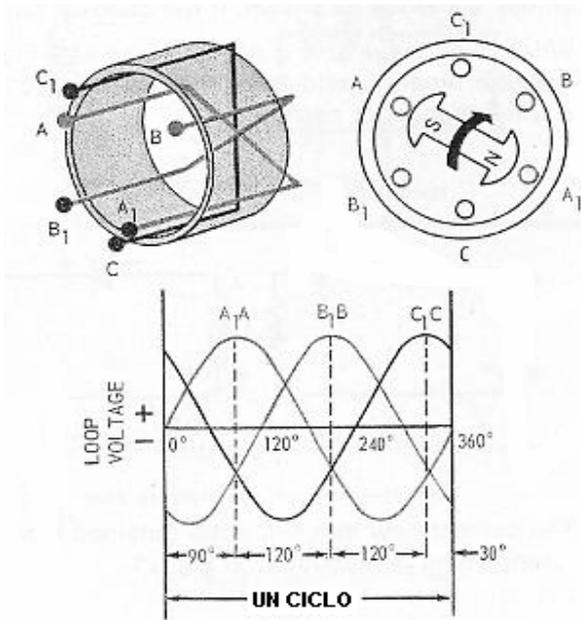


Fig. 3.17 – curvas de voltaje.

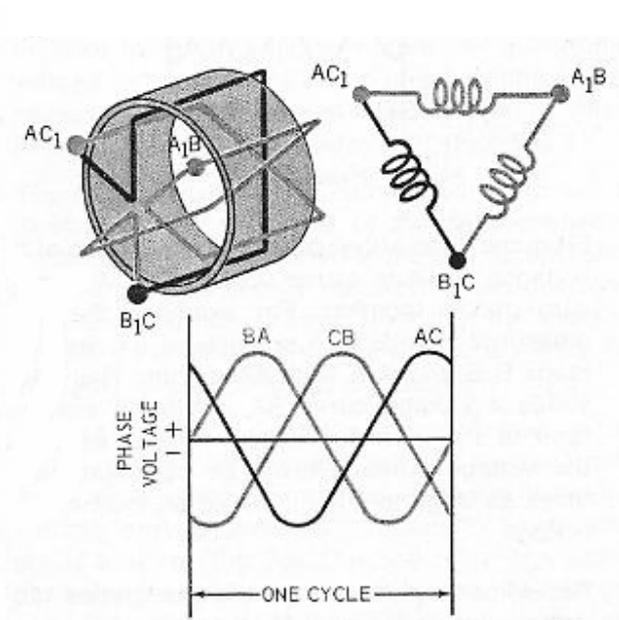


Fig. 3.18 Fases del voltaje (Stator Delta)

Las Figuras 3.17 y 3.18 muestran las curvas y fases de voltaje en un alternador

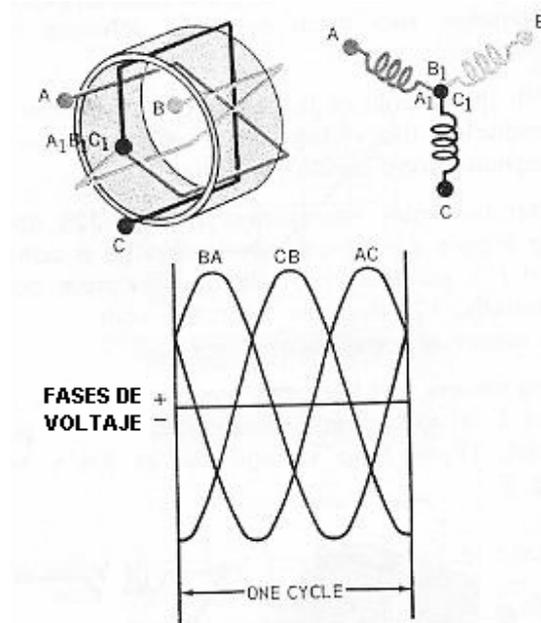


Fig. 3.19 Fases del voltaje, Estator en estrella.

En la figura 3.19 se muestra las fases de voltaje de un estator conectado en estrella, en esta configuración las líneas de voltaje son similares a las líneas de voltaje obtenidas en

una configuración en delta, la diferencia de estas configuraciones se observan en curvas de voltaje y en la intensidad de la corriente generada.

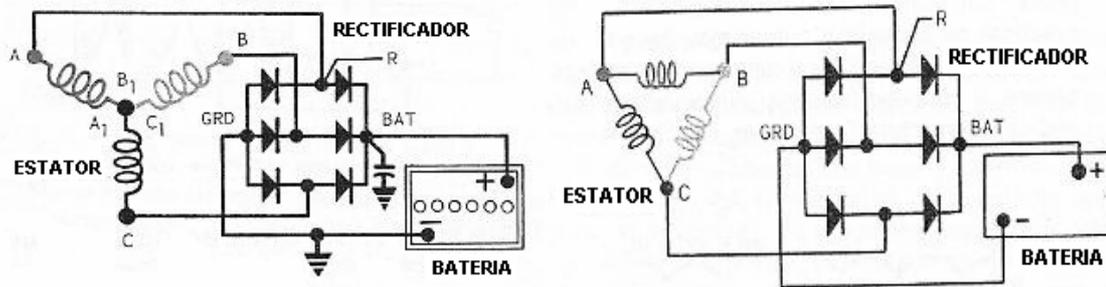
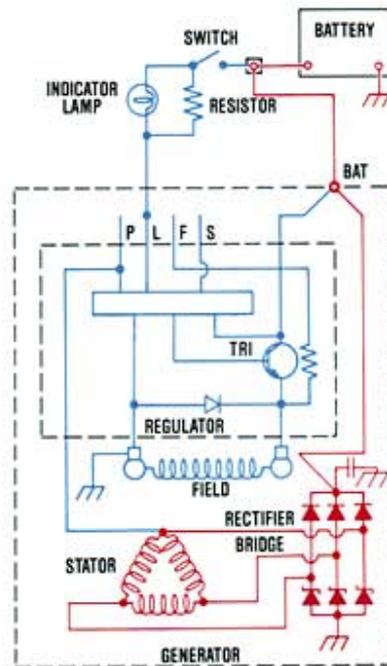


Fig. 3.20 Y 3.21. Rectificación de las tres fases de onda completa en estatores configurados en estrella y delta.

Con una configuración en estrella del estator, se empieza a generar voltaje y corriente a menor velocidad de rotación. El voltaje generado es mayor y la corriente es menor. Estas son las características principales que distinguen a estos tipos de configuraciones (estrella y Delta). Dado que en la configuración en delta se genera más corriente, esta configuración es la más establecida en los generadores y alternadores.

Los Generadores y los alternadores, ambos generan corriente alterna, la diferencia es en la forma que rectifican la c.a. a c.d. En la Fig. 3.20 y 3.21 se muestran 6 diodos rectificadores, los cuales convierten la c.a. a c.d, y de esta manera poder cargar un banco de baterías o usarla directamente en cargas de corriente directa. Los diodos dejan pasar la corriente en una sola dirección, separan los electrones de los protones, aun así la corriente directa es pulsante pero en menor proporción por las tres fases de corriente a la salida del estator ya sea en configuración de estrella o delta.

Los alternadores automotores están provistos de un electroimán poderoso, y para su funcionamiento requiere de una pequeña corriente provista por la batería, ya que el excitador del alternador esta conectado en paralelo con la batería del auto en el sistema eléctrico automotriz como se puede ver en la figura 3.22.



3-Phase AC Input + Rectifier Bridge = DC Output



Fig. 3.22 circuitos de carga y rectificación en el sistema eléctrico de un automóvil

Antes del alternador, los generadores de conmutador de c.d. proporcionaron el poder eléctrico, la salida de corriente de los generadores era de c.d. y por lo tanto no había la necesidad de conversión de c.a. a c.d. electrónicamente. Pero con las demandas crecientes de poder eléctrico se desarrolló un interruptor para incrementar la salida de corriente de los generadores, de aquí salió el alternador con una alta capacidad de corriente a la salida. En el alternador la salida de corrientes es c.a., y fue necesario convertirla a c.d. para uso en los vehículos. Esto se alcanzó con el uso de un puente rectificador, que incorpora típicamente seis diodos semiconductores como se puede observar en las figuras 3.21 y 3.22.

3,12 El Generador.

Un generador es un dispositivo que transforma la energía mecánica en eléctrica y es el corazón de un circuito de carga de c.d.

OPERACIÓN BÁSICA DE UN GENERADOR.

El generador produce el poder eléctrico por medio de la inducción electromagnética. Esto mueve a un conductor a través de un campo magnético estacionario. El generador eléctrico básicamente esta compuesto por dos partes.

1. Armadura – los devanados de alambre que giran (el conductor)
2. polos magnéticos – un campo magnético estacionario.

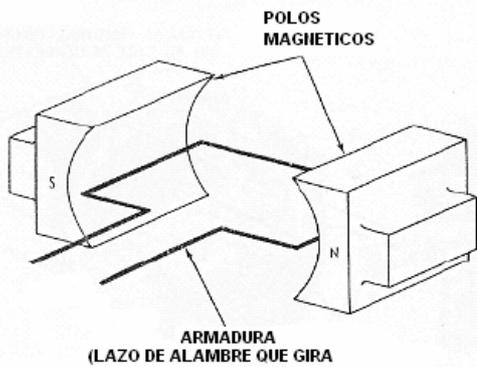


Fig. 3.23 Partes básicas de un generador.

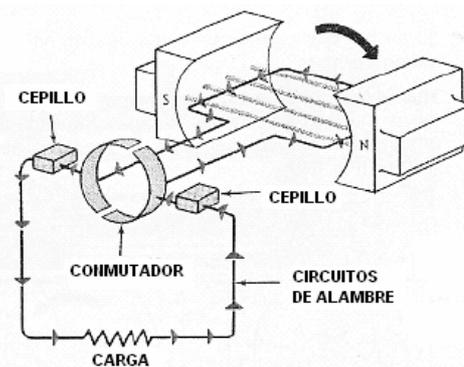


Fig. 3.24 Flujo de corriente básica del generador.

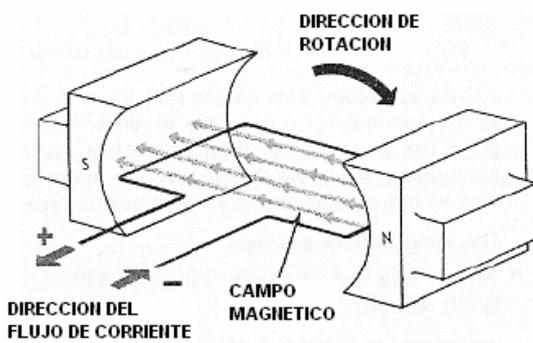


Fig. 3.25 voltaje básico generado.

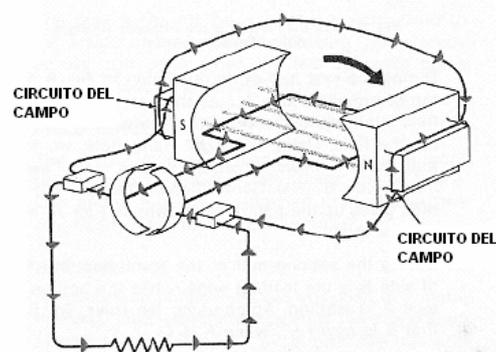


Fig. 3.26 Las partes completas de un generador.

Como la armadura rota a través del campo magnético de los polos, el voltaje es generado. Usando la regla de la mano derecha, podemos observar que el voltaje viene hacia nosotros sobre el lado derecho en la Fig. 3.25, y el flujo lejos de nosotros en el

lado derecho. Por la teoría convencional, esto significa que la terminal izquierda de la armadura de alambre es positiva (+) mientras que la derecha es negativa (-). Por el flujo de la corriente, se deben agregar tres partes más (fig. 3.24). Para asegurar una corriente fuerte y un flujo apropiado se debe agregar una característica mas (Fig. 3.26). Los imanes por si mismos son débiles y crean un campo magnético débil. El resultado es un bajo voltaje inducido. Para resolver esto se enrollan los conductores de alambre alrededor de los imanes como se muestra en la Fig. 3.26. Al conectar los alambres a los imanes, la corriente es usada para reforzar el campo magnético entre los polos. Este alambrado es llamado el circuito del campo del generador.

COMO CONVIERTE LA CORRIENTE EL GENERADOR DE C.A. A C.D.

La armadura invierte la polaridad de la corriente y así cambia de dirección la corriente en cada lado del rotor así como gira (Fig. 3.27).



Fig. 3.27 como cambia la polaridad de la armadura durante cada revolución.

Durante la primera media revolución en la Fig. 3.27, la cima de la armadura en el lado A corta a través del primer campo magnético, mientras el fondo en el lado B es el primero en cortar el campo. Usando la regla de la mano derecha, encontramos que los flujos de corriente “hacia” el lado A y “lejos de” el lado B. la teoría convencional (+ a -) entonces nos dan las polaridades mostradas: (+) por A, y (-) por B. Así se observa que en la armadura el lazo finaliza en la polaridad inversa durante cada revolución.

Obteniendo un flujo de corriente c.a. de carga en alguna dirección (d.c.) este es el trabajo del conmutador y los cepillos (Fig. 3.27). Dos veces durante cada rotación, la armadura es vertical al campo magnético como se ha mostrado. Aquí el lazo de la

armadura no pasa a través del campo y ningún voltaje se genera en ese instante. Este es el punto estático neutral.

El conmutador se divide en dos partes, con las partes abiertas parejas al punto neutral de la armadura como ha sido mostrado (Fig. 3.28). Eso significa que hay espacio como del conmutador pasa a los cepillos. Pasado este punto la otra mitad del conmutador contacta a los cepillos. Invertiendo el flujo de la corriente en el tiempo similar como en la rotación de la armadura se invierte la polaridad. Dando como resultado un flujo de corriente directa.

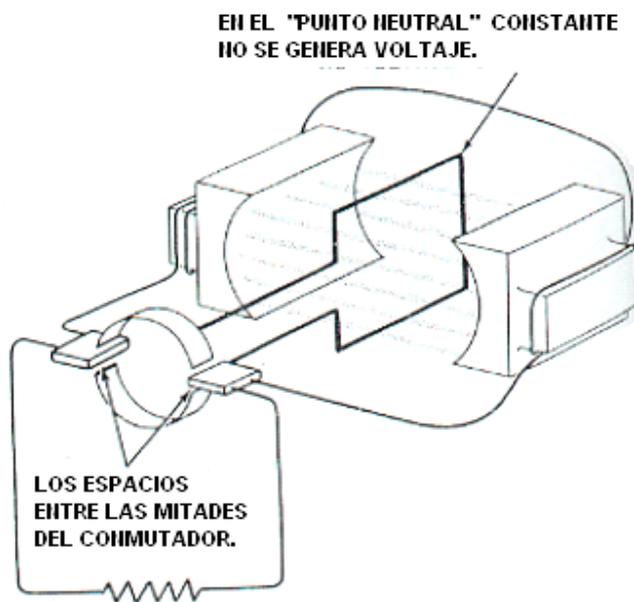


Fig. 3.28 Proceso mediante el cual el generador convierte la corriente de c.a a c.d.

EN RESUMEN: COMO TRABAJAN LOS GENERADORES

- ◆ El movimiento de una bobina a través de un campo estacionario = Un Generador básico.
- ◆ Un generador básico = una armadura (rotatoria) + polos magnéticos (Fijos).
- ◆ El circuito es completado a través del conmutador y los cepillos.
- ◆ Los vientos del circuito refuerzan los polos magnéticos.

Las divisiones del conmutador convierten la corriente de c.a. a c.d.

LAS PARTES DEL GENERADOR EN MÁS DETALLES.

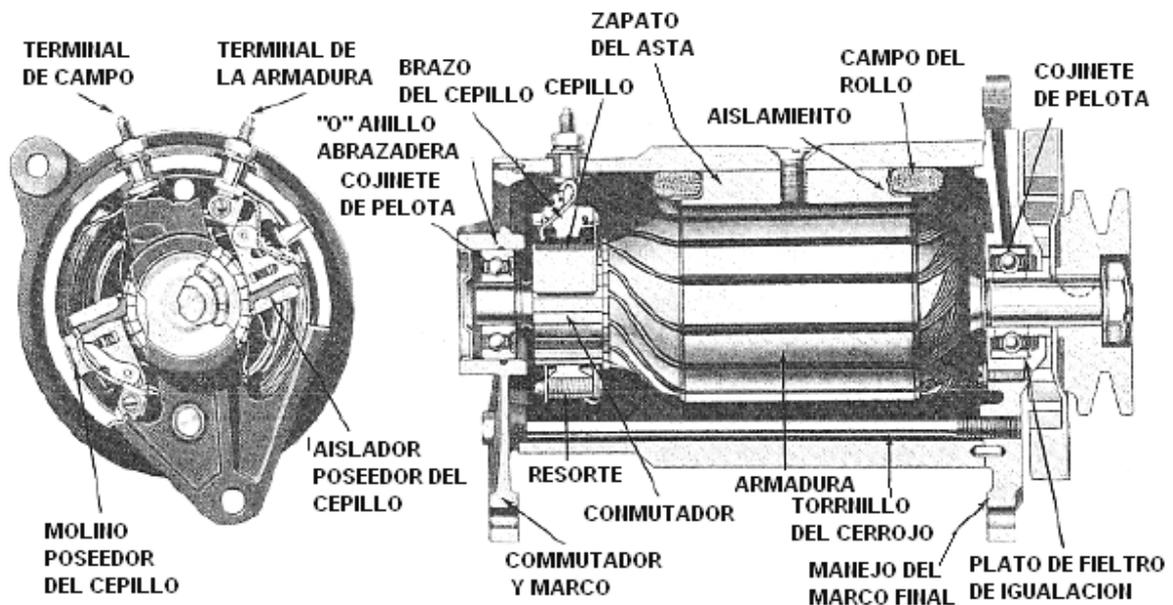


Fig. 3.29 Generador de c.d. en un panorama más detallado.

LA ARMADURA: la armadura no es justo un lazo de alambre o un conductor, pero si muchos alambres conductores. Esto significa que un alto voltaje es desarrollado. Estos conductores están en hileras alrededor de un centro de suaves secciones laminadas de hierro. El laminado de secciones de hierro es usado en lugar de sólidos centros de hierro para reducir el calor. Un centro sólido de hierro habría generado voltaje no deseado dentro del mismo. Esto resultaría en un flujo de corriente llamado "Corrientes de remolino" la cual crea excesivo calor.

EL CONMUTADOR: El conmutador debe tener una sección para el mach de cada bobina de la armadura. Así el anillo del conmutador esta compuesto por muchas secciones o barras montadas sobre el final del conducto de la operación de la armadura, cada sección o barra es tenido en conjunto y separadas de la barra adyacente por un material aislante. El final de cada conductor de alambre es conectado a dos barras adyacentes del conmutador.

LOS CEPILLOS: Los cepillos son hechos de varios materiales, dependiendo de las salidas necesarias del generador. Las instalaciones fijas en el generador que tengan los

cepillos, así las terminales frotan o pasan sobre el anillo del conmutador. Usualmente, el resorte presiona las fuerzas de los cepillos contra el anillo del conmutador.

LOS ZAPATOS DEL ASTA: los zapatos del asta son imanes permanentes, fijados al interior del espacio del generador. Se ponen directamente a través de uno al otro, los dos polos opuestos para establecer un campo magnético débil.

EL CIRCUITO DEL CAMPO: El circuito del campo esta compuesto de un alambre conductor en hilera alrededor de ambos polos en la mayoría de las veces. Una terminal del alambre es conectada al cepillo; la otra terminal se conecta a la terminal del circuito del campo.

PROTECCIÓN: todos los componentes del generador son protegidos dentro de una armadura de metal. La mayoría de los generadores tienen aberturas en ambas terminales. Esto permite el paso del aire y refresca a través del generador.

UNIDADES AUXILIARES

Tres unidades externas son las partes importantes en la operación de un generador.

RELAY DE RECORTE: Como se conoce el generador recarga las baterías, así como también suministra corriente al resto del sistema eléctrico. Para recargar la batería, el circuito se debe recorrer del generador a la batería. Sin embargo, si este circuito fue completado cuando el generador no esta en operación, la batería se descargaría a través del generador.

REGULADOR DE VOLTAJE: El voltaje desarrollado por un generador se elevara como sea necesario para vencer cualquier resistencia en el circuito. Si la resistencia es alta, el voltaje será alto. Mientras la resistencia baja, el voltaje baja. Pero si el voltaje es demasiado alto, el campo y la carga del circuito podrían ser dañados. El generador no puede controlar la cantidad de voltaje que produce. Por lo tanto, una unidad externa llamada regulador de voltaje es usada en el campo del circuito. El regulador de voltaje tiene una terminal, la cual es dirigida hacia los puntos de control y para reforzar el campo magnético, y así limita el voltaje generado.

REGULADOR DE CORRIENTE: El excesivo flujo de corriente es causado por la poca resistencia y también puede causar daño por calentamiento en la armadura. El regulador de corriente es instalado en la carga del circuito para el control del flujo de la corriente. Esta unidad es muy similar al regulador de voltaje arriba. El regulador de corriente y el regulador de voltaje ambos son usados pero mientras uno está trabajando el otro no. Estos nunca trabajan al mismo tiempo.

Todas las tres unidades – Relay de corte, regulador de voltaje y el regulador de corriente – son usualmente usados en conjunto en un circuito ([John Deere Company 1972](#)).

4, PRINCIPIOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS AEROGENERADORES.

4,1 turbinas eólicas.

Los sistemas eoloeléctricos de bombeo son el gran cambio de los molinos de viento en dos aspectos: eficiencia y volumen de agua. La eficiencia es el doble comparada con los molinos de viento debido a que las turbinas eólicas están disponibles en mayores tamaños y con la capacidad de bombear agua suficiente para el riego y el abastecimiento de poblaciones.

Actualmente, la mayoría de las turbinas fabricadas son de eje horizontal y son de las llamadas “corriente viento arriba” y cuentan con dos o tres alabes. La cantidad de electricidad que una turbina puede generar, está determinada en una primera instancia, por el diámetro del rotor. Este parámetro define su “área de barrido” o la cantidad de viento que es interceptado por la turbina. La coraza de la turbina es la estructura en la cual el rotor, el generador y la cola se encuentran montados. La cola ayuda a mantener a la turbina siempre de frente (perpendicular) al viento.

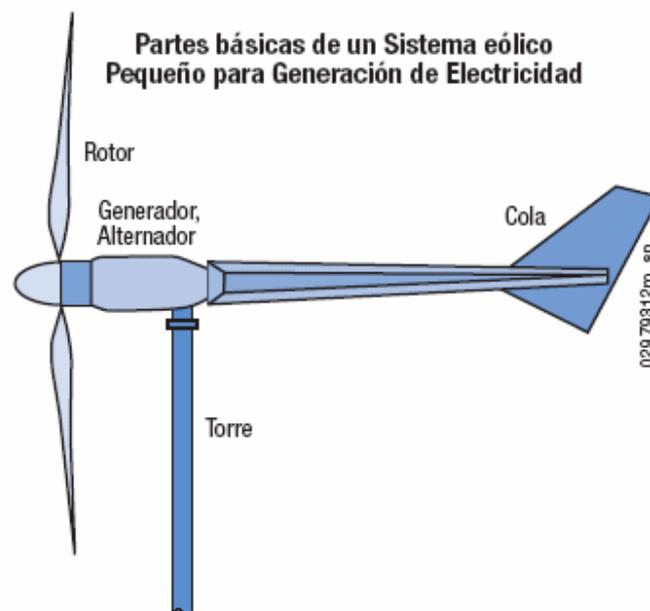


Fig. 4.1 Partes básicas de un sistema eólico para generación de electricidad,

4,2 Clasificación de los aerogeneradores.

La clasificación de las turbinas ha sido establecida de acuerdo a la interacción de sus aspas con el viento, la orientación del rotor con respecto al suelo, y por los tipos inusuales de las maquinas. La interacción de las aspas con el viento es por arrastre o por sustentación o por combinación de las dos. Cuando el eje del rotor es paralelo al suelo, estas turbinas son conocidas como turbinas de eje horizontal. También pueden tener el eje perpendicular al suelo, estas turbinas son conocidas como turbinas de eje vertical. Los aerogeneradores son denominados Sistemas Conversores de Energía Eólica (SCEE).

Cuadro 4.1 TIPOS DE SCEE

SISTEMA	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Eje vertical	Aprovechan vientos de cualquier dirección	Menos eficientes que los sistemas de eje horizontal
Eje horizontal	Más eficientes que los sistemas de eje vertical	Necesitan un sistema de orientación

Los sistemas de eje horizontal también pueden ser:

Viento arriba o viento atrás y Velocidad constante o velocidad variable

Número de palas: El número de palas en una turbina eólica determina la velocidad de rotación y la solidez del rotor. Los rotores multipalas giran a baja velocidad. A medida que disminuyen las palas, la hélice puede girar a mayor velocidad. Para la generación de electricidad se requiere alta velocidad de rotación y de menor numero de palas, con lo cual, el aerogenerador reduce sus dimensiones, su peso y consecuentemente su precio. En hélices de una pala: se requiere de un contrapeso que compense la pala opuesta, y el balanceo debe realizarse con mucho cuidado y precisión debido a la extremada sensibilidad que tiene a las vibraciones. Resulta atractiva económicamente, porque necesita sólo una pala, que es un elemento costoso, pero las dificultades producidas por las vibraciones la hacen poco práctica. La hélices de dos palas: son más económica que la de tres palas pero resulta más sensible que ésta a las vibraciones. En turbinas de baja potencia, con hélice de dos palas y de paso fijo, la hélice puede

construirse entera con un solo larguero pasante, mientras que si es de paso variable esto ya no es posible. En hélices de tres palas: su característica principal es su mayor suavidad de funcionamiento y gran estabilidad en movimiento. Por todo lo que antecede, para hélices rápidas, de alta velocidad de giro, son recomendables las hélices de dos y tres palas.

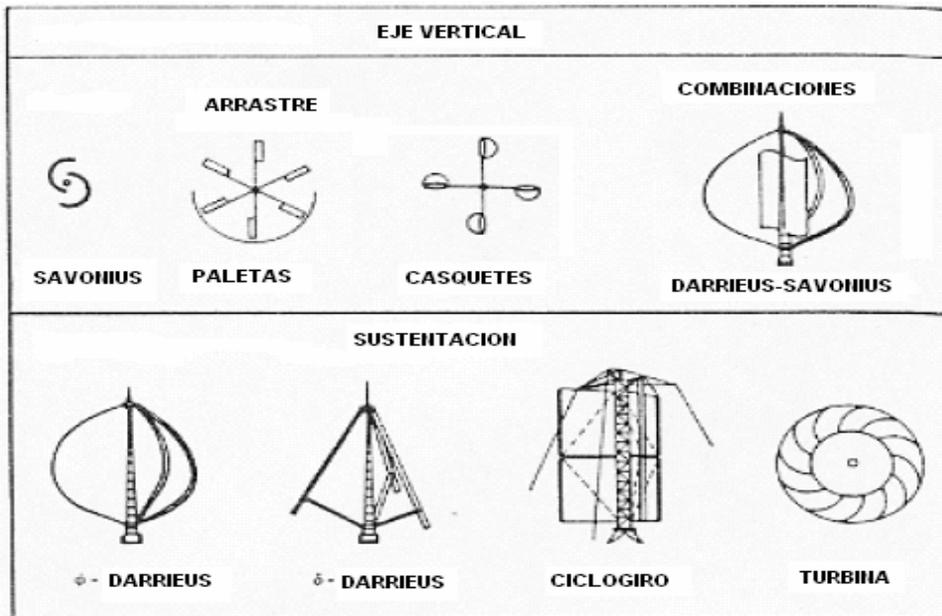


Fig. 4.2 Diferentes tipos de aeroturbinas.

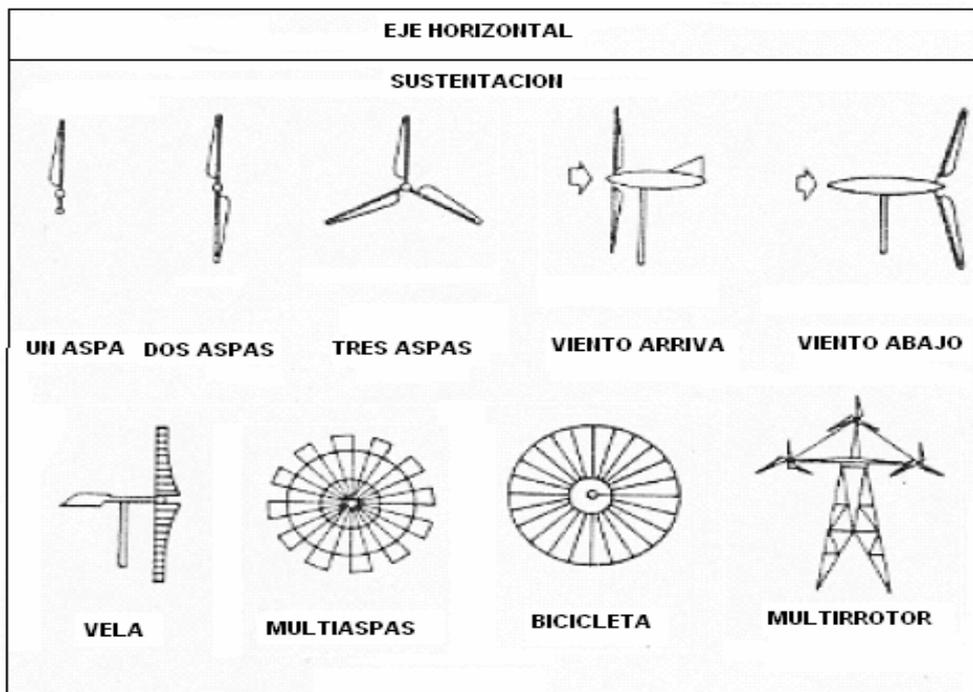


Fig. 4.3 Diferentes tipos de aeroturbinas.

La turbina eólica (Aeroturbina) constituye el principal elemento de los sistemas de aprovechamiento de energía, constituida por un arreglo de aspas, soportadas sobre una torre, las cuales giran al ser atravesadas por una masa de aire.

TAMAÑO RELATIVO DE LA TURBINA EÓLICA. En los aerogeneradores, el tamaño de la turbina es muy importante especialmente el diámetro del rotor, actualmente el rango del tamaño de las turbinas eólicas va desde la MARLEK 500 de 20 W con un rotor de solamente de 0.5 m/d, hasta una gigantesca maquina de VESTAS de 1650 KW con un rotor de 53 m/d. No hay regla definitiva sobre como considerar el tamaño de una turbina, las designaciones del tamaño son algo arbitrarias, aunque es evidente, por ejemplo que la MARLEK 500 es pequeña y la turbina VESTAS de 1.65 megavatios no lo es. La clasificación en cuanto al tamaño depende tanto del diámetro del rotor así como de la capacidad del generador, en general las pequeñas turbinas serian las maquinas que producen desde unos pocos vatios hasta 10 – 20 KW. Las turbinas en el limite superior de este rango trabajan con rotores de 7 – 9 m/d. Las pequeñas turbinas eólicas pueden ser subdivididas en micro turbinas, las más pequeñas de las turbinas eólicas en miniturbínas y turbinas de tamaño domestico.

4,3 Subsistemas principales en aerogeneradores.

4,3,1 Dispositivos de arrastre

Dispositivos de arrastre: en los dispositivos de arrastre, el viento empuja contra las aspas forzando el giro del rotor sobre su eje. Estos dispositivos tienen una eficiencia limitada ya que la velocidad del dispositivo no puede ser mayor a la velocidad del viento. Ejemplo de estos dispositivos es el de un bote de vela, un rotor savonius, anemómetros y veletas (Curso introductorio de energía eólica FIRCO 2005).

4,3,2 Sustentación o levantamiento.

Dispositivos de sustentación o levantamiento: En los dispositivos de levantamiento se utilizan superficies de sustentación en vez de aspas, similares a las hélices o las alas de los aviones. Al usar levantamiento, las aspas pueden moverse más rápido que el viento y son mas eficientes en términos de uso del material de construcción y aerodinámica. En los dispositivos de sustentación se toman en cuenta dos características muy importantes: la relación de velocidad de punta y la solidez. La

primera se obtiene considerando la velocidad de la punta del aspa dividida entre la velocidad del viento, la solidez es el área del aspa dividida entre el área del rotor.

4,3,3 Sistema de la turbina eólica.

La turbina eólica genera una producción de energía cinética rotacional que puede convertirse en energía mecánica, eléctrica o térmica. El sistema completo consiste de la turbina eólica y la carga. Una turbina típica consiste del rotor, (aspas y cubo), caja de velocidades, sistema de conversión y torre. La cabina es la cubierta que contiene la caja de velocidades y el generador ([Curso introductorio de energía eólica FIRCO 2005](#)).

4,3,3,1 Construcción.

La mayoría de los materiales empleados en la elaboración de las aspas de las turbinas eólicas son materiales resistentes y livianos. Una de las características principales que deben tener las turbinas eólicas es: ser resistentes al viento y de baja solidez y peso, para tener una velocidad de arranque a vientos de 14 Km/hr. Los materiales mas empleados son la madera y el acero, la madera se emplea en la construcción de rotores caseros y el acero en se emplea en las grandes turbinas generalmente, ya que en rotores grandes se requiere de materiales resistentes para soportar las vibraciones generadas por las fricciones del viento sobre las aspas.

Cuadro 4.2 Materiales usados para la construcción de aspas para aerogeneradores.

Material	Densidad (kg/m ³)	Costo (USD/kg)
Acero.	7,800	5.5-8
Madera laminada – resina epóxica.	550	10-15
Fibra de vidrio - resina de poliéster	1,800	10-15
Fibra de vidrio - resina epóxica	2000	12-18
Fibra de carbón - resina epóxica	1500	20-100

Actualmente en los nuevos diseños se emplean materiales compuestos: Fibras de vidrio, resinas de poliéster, vinilester y epoxi. El empleo de fibra de vidrio proporciona muchas ventajas, una de las cuales es la optimización de la estructura para resistir las cargas aerodinámicas y además de aligerar el peso total. Además, el costo de estos

materiales esta descendiendo considerablemente, por lo que su empleo se garantizara en el futuro.

4,3,3,2 Orientación.

Las turbinas eólicas se clasifican por la orientación del eje del rotor con respecto a la superficie del suelo; en turbinas de eje horizontal y turbinas de eje vertical. En las turbinas de eje horizontal, los rotores siempre están perpendiculares a la dirección del viento. Las turbinas de eje vertical tiene la capacidad de captar vientos en cualquier dirección, la velocidad de rotación debe ser mayor que la velocidad del viento para generar energía, son de baja eficiencia, se les ha dado poca importancia en proyectos de investigación, ya que las turbinas de eje horizontal son mucho mas eficientes por sus características de diseño aerodinámico en los rotores, la orientación perpendicular al viento en estas turbinas depende de una cola situada al extremo del eje de la turbina, en el caso de aerogeneradores grandes, el sistema de orientación esta conformado por un sensor de orientación y una transmisión hidráulica la cual orienta automáticamente la turbina eólica en dirección perpendicular al viento.

4,3,3,3 Control.

Las condiciones meteorológicas determinan las condiciones del viento, las variaciones en velocidad del viento se presentan muy frecuentes, originadas por diferencias de presión atmosférica; estas variaciones también son muy comunes cuando se presenta una tormenta y por las entradas de los frentes fríos. Debido a que la velocidad del viento es variable a través del tiempo y la potencia puede aumentar en un periodo de tiempo muy corto, todas las turbinas eólicas deben de tener un método de descarga de potencia o de no captura a altas velocidades. Los métodos de control son:

- Cambio de la eficiencia aerodinámica.
- Paso variable, puesta en bandera de las aspas o perdidas de sustentación.
- Operación a velocidad (rpm) constante.
- Interceptores.
- Cambio del área de intercepción.

- Puesta en bandera del rotor.
- Cambio de la geometría del rotor.
- Frenado Mecánico, hidráulico, Neumático y Eléctrico (resistencia magnética.)

Estos métodos se pueden utilizar por si mismos o en combinación durante vientos de alta velocidad.

4, 3, 3,4 Operación

La operación de un generador es definida por una curva de potencia, la curva muestra la potencia contra la velocidad del viento; describe la operación de la turbina en función de la velocidad del viento (Fig. 4.4). La velocidad de activación es de 5 m/s aproximadamente, a los 7.5 m/s el primer aerogenerador desarrolla su capacidad nominal y a los 10 m/s el segundo aerogenerador alcanza su capacidad nominal, en la grafica se muestran dos curvas, la diferencia en cuanto a la capacidad nominal se debe a que el primero es de baja velocidad y el segundo generador es de alta velocidad. Cuando la velocidad del viento sobrepasa los 19m/s (68.5 km/hr.) se detiene la unidad, como medida de protección de la misma, algunas unidades siguen operando a cualquier velocidad. Las turbinas pueden operar a velocidades variables o constante. La operación más eficiente es a relación de velocidad de punta constante (coeficiente de potencia constante).

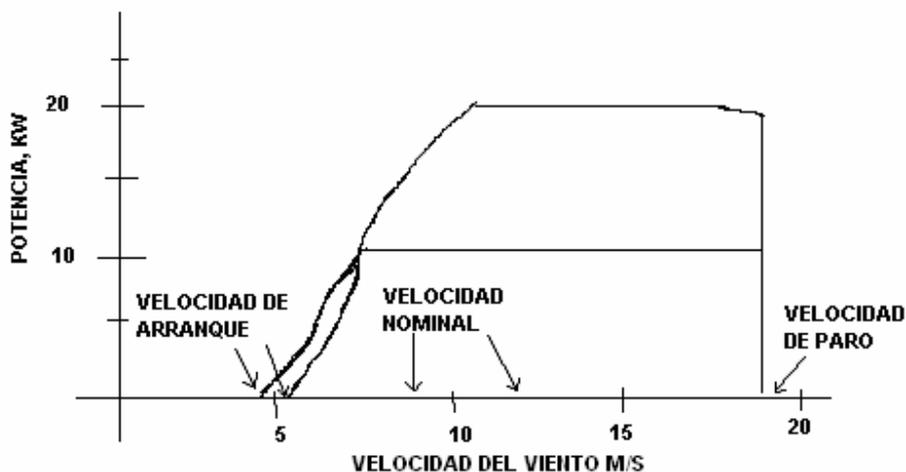


Fig. 4.4 curva de potencia de un rotor con dos generadores de diferentes tamaños.

La potencia nominal del rotor, se determina aproximadamente por su área de captación, la energía aumenta con el cuadrado de su radio, un generador más grande, es recomendable en mejores condiciones de viento, el tamaño óptimo para un rotor sigue siendo indeterminado. Para un mejor cuidado en la turbina eólica, lo recomendable es apagarla por fallas como pérdidas de carga, vibraciones, pérdidas de fase, anomalías en la corriente o el voltaje etc. Todos estos aditamentos de seguridad pueden salvar la unidad pero el aditamento mas importante es aquel que incluye un método de control en el rotor cuando hay una gran pérdida de carga durante altos vientos y ráfagas. Si no se apaga la unidad en unos segundos, puede alcanzar niveles de potencia tan altos que la unidad puede autodestruirse.

4,3,3,5 Torres.

La mayoría de las torres son de acero, con el paso del tiempo la vida útil de las turbinas eólicas se ha estimado de 20 a 25 años, por lo que se hace rentable y razonable el empleo de torres resistentes contra el tiempo y las inclemencias del medio ambiente.

Torres tubulares:

Ventajas

Proporcionan el medio de protección e instalación para equipos de control y sistemas eléctricos en piso.

Se pueden integrar medios muy seguros para que el personal de mantenimiento suba al chasis.

Su comportamiento dinámico es relativamente sencillo.

Su aspecto estético es agradable y moderno.

Su instalación es fácil y rápida.

Requieren poco mantenimiento.

Su base ocupa poco espacio.

Desventajas

Tienen un costo relativamente alto.

Su fabricación requiere maquinaria especializada.

Su transportación es más difícil y costosa.

Por su volumen, el transporte terrestre de torres tubulares para aerogeneradores grandes (del orden de MW) tiene limitaciones importantes.

Torres de celosía.

Ventajas

Tienen un costo relativamente bajo.

Son fáciles de construir ya que típicamente están formadas por perfiles angulares de acero.

Son fáciles de transportar, prácticamente en cualquier tamaño.

Desventajas

Requieren mucho mantenimiento.

Son rígidas.

Requieren de un medio adicional para la instalación del equipo electrónico de piso.

El acceso al chasis principal implica riesgos altos en condiciones climáticas adversas.

4,4 Diseño aerodinámico de las palas del rotor.

El tamaño de una turbina eólica se determina de acuerdo a la demanda energética y al potencial eólico predominante en la región durante la mayor parte del año, en base a estos factores se determina el diseño aerodinámico de la turbina eólica.

La solidez en los rotores eólicos, es la resistencia que presentan las turbinas contra el viento, a mayor solidez en un rotor, la velocidad de arranque es mayor y la velocidad de rotación es menor, la solidez determina el peso de la turbina, en el caso de los papalotes, estos dispositivos son de baja velocidad, ya que presentan un alto grado de solidez, lo cual se trasmite en peso de la turbina, esto impide que los rotores sean mas grandes. En los aerogeneradores, el diámetro de las turbinas va desde los 0.50 m/d y mayor a los 58 m/d., estas turbinas están compuestas por tres aspas común mente. Esta característica le permite a los aerogeneradores ser menos pesados, alcanzar un mayor número de revoluciones por minuto y tener gran solidez y estabilidad. En las turbinas de tres aspas, los esfuerzos estructurales se distribuyen mejor, esta característica permite a estas turbinas tener diámetros mayores y

aprovechar mejor los vientos de bajas velocidades, ya que poseen una mayor área de barrido.

Solidez de un rotor.

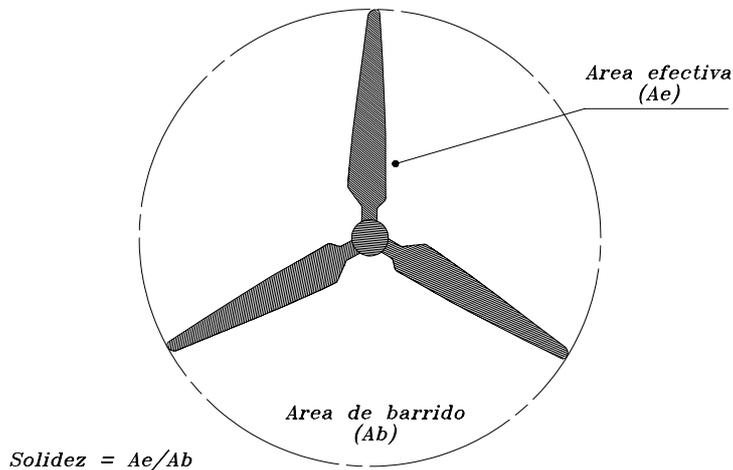


Fig. 4.5 Solidez y área de barrido en una turbina eólica.

Relación de punta de aspa $\lambda = \frac{\omega r}{V_{CR}}$ Ec. 08

Donde:

ω es la velocidad angular del rotor (rad/s)

r es el radio del rotor (m)

V_{CR} es la velocidad del viento referida al centro del rotor.

La relación de velocidad de punta determina la solidez en los rotores eólicos, cuando se tiene un rotor de alta solidez se tiene: ω baja, r alto y λ baja, y en caso contrario cuando se tiene un rotor de baja solidez se tiene que: ω alta, r bajo y λ alta.

La hélice es, el elemento más importante de una turbina eólica por ser el captador de la energía del viento. Al ser expuesta a la corriente de aire, experimenta una baja presión sobre su superficie, creando así un momento de giro, sobre la hélice. La hélice es la variable principal que influye en el comportamiento de los rotores de eje horizontal, para determinar su Dimensionamiento.

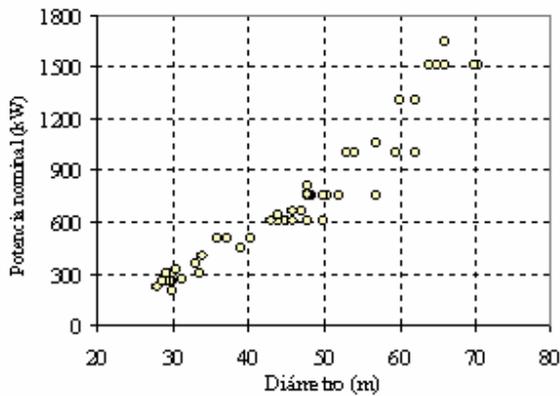


Fig. 4.6 Diámetro de aerogeneradores- potencia nominal.

El Dimensionamiento del rotor eólico es la tarea más difícil, ya que requiere de la integración de conocimiento en diferentes disciplinas además de la aerodinámica, como la dinámica, estática, mecánica y resistencia de materiales. Una de la primera estimación para el diseño de la turbina eólica es determinar la potencia requerida y determinar a que velocidad del viento alcanzara su velocidad nominal o potencia nominal de diseño. Teóricamente y de manera preliminar se puede calcular el área del rotor deseado, partiendo de la siguiente relación. Ec. 08

$$P = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3 \right) \cdot C_p$$

De esta formula se puede tomar un valor aproximado de C_p . (entre 0.30 y 0.35), también se considera la perdida de carga de la maquinaria que va unida al rotor, como los valeros, cojinetes, la flecha del rotor, y el generador.

El diseño aerodinámico de las palas del rotor, influye sobre la eficiencia de aprovechamiento del potencial eólico a una determinada velocidad en potencia nominal de diseño. Ya que el perfil aerodinámico permite determinar un ángulo de torcimiento optimo a una determinada velocidad del viento.

La parte alabeada del aspa siempre esta orientada hacia arriba, sobre la superficie curva, el flujo del aire se desplaza más rápido, el aire recorre una menor distancia y con mayor velocidad, creando una baja presión en la superficie superior, y una presión alta en la parte inferior.

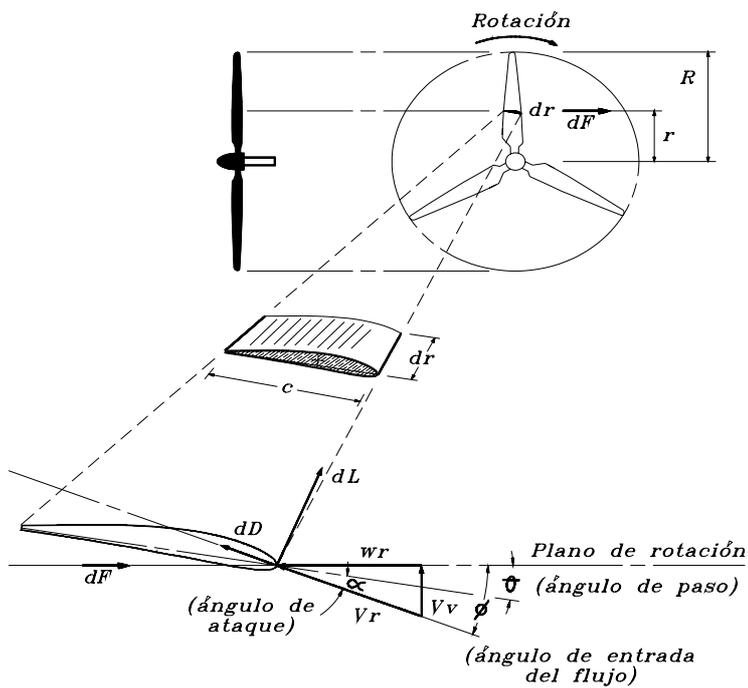


Fig. 4.7 diseño aerodinámico de la hélice del rotor.

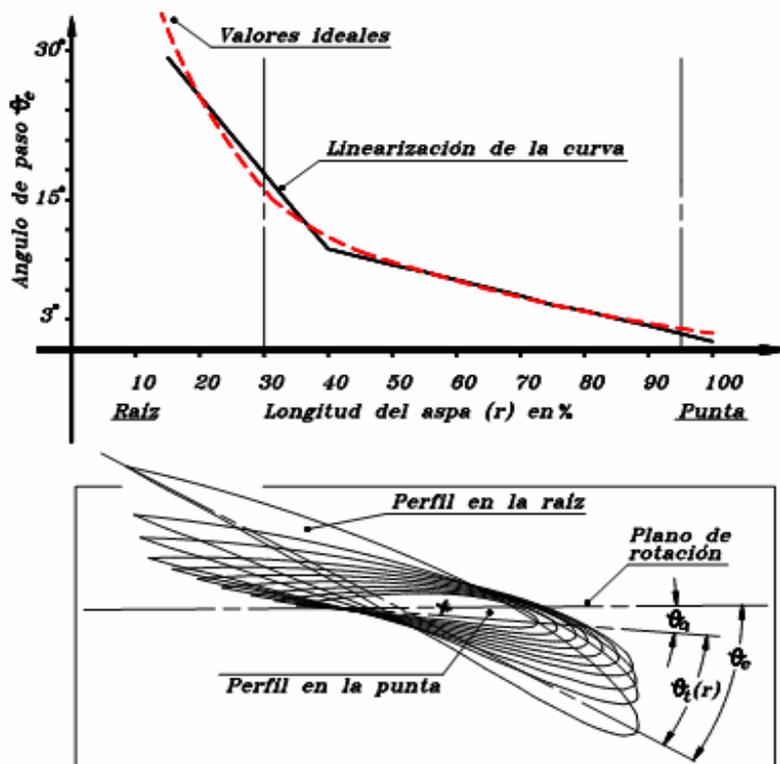


Fig. 4.8 torcimiento en aspas para un generador de eje horizontal.

Esta diferencia de presión genera un momento de giro sobre las aspas de la turbina, por lo tanto, para que se tenga un mayor número de rpm y para obtener el diseño óptimo de la turbina eólica a la velocidad de viento deseada, se determina el torcimiento del asa para generar un diferencial de presión que permita alcanzar el mayor número de rpm a la velocidad media de diseño del viento en la región donde se plantea establecer una estación eolieléctrica.

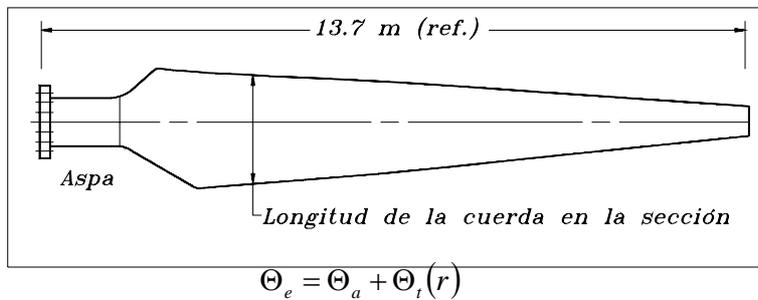
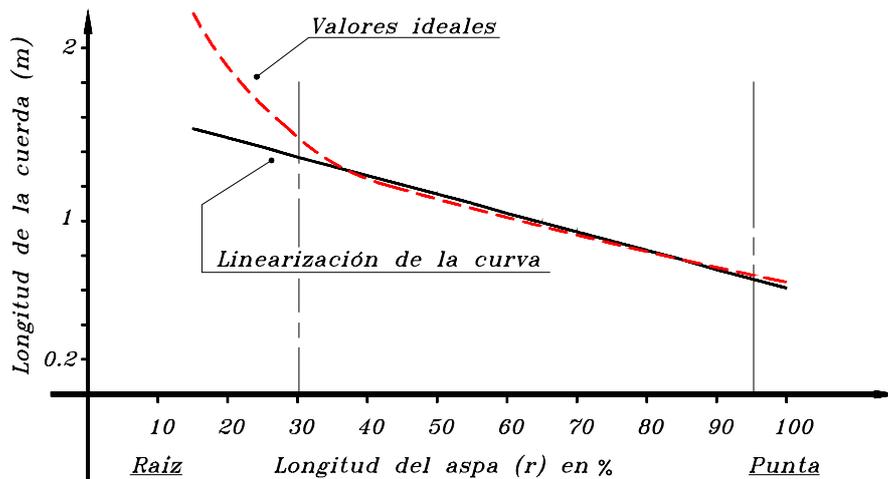


Fig. 4.9 Conicidad en aspas para generadores de eje horizontal.

La conicidad en las aspas trasmite una mayor resistencia, para soportar las vibraciones ocasionadas por la fricción del aire sobre las aspas, además de que en una estructura triangular se distribuyen mejor los esfuerzos, las turbinas eólicas siempre están expuestas a cambios constantes de régimen eólico, de bajas velocidades hasta velocidades muy altas en periodos de tiempo muy cortos, por este motivo las aspas de las turbinas se diseñan alabeadas, cónicas y siempre con una estructura triangular.

4,5 Potencia y eficiencia de captación y conversión del rotor eólico.

Máxima potencia extraíble del viento

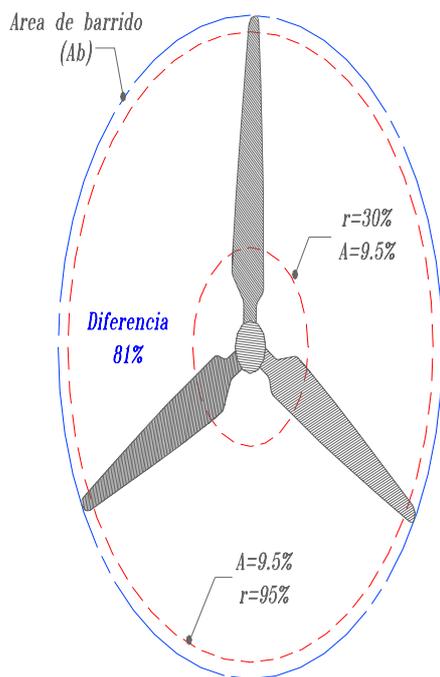
La potencia captada por un aerogenerador suele expresarse como:

$$P = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_1^3 \right) \cdot C_p$$

Ec. 09

Donde C_p es el coeficiente de potencia que determina el rendimiento aerodinámico del rotor.

La potencia eólica es una medida de la velocidad del viento en la cual la energía eólica es convertida a energía eléctrica o transferida. Un generador eléctrico tiene un rendimiento del 92% para máquinas de más de 10 kw pero para potencias menores en el mercado puede llegar a valores tan bajos como el 50%.



$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_p \quad \text{Ec. 10}$$

Fig. 4.10 Porcentaje de aportación de potencia del rotor.

Para la generación de energía eléctrica es indispensable alcanzar un alto número de revoluciones, se debe incorporar un multiplicador de velocidades. Si éste es una caja de engranajes el rendimiento que se puede alcanzar es del 90%. Por su parte, la hélice

de eje horizontal adecuadamente diseñada puede captar, de la potencia disponible en el viento, hasta un 42%; mientras que hélices calculadas y realizadas con poco cuidado pueden bajar el rendimiento hasta un 10%.

El rendimiento global η de la turbina será:

$$\eta = \eta_e \eta_m C_p \quad \text{Ec. 11}$$

En donde:

η_e = rendimiento eléctrico.

η_m = rendimiento del multiplicador.

C_p = coeficiente de potencia de la hélice.

De este modo la potencia eléctrica de salida será:

$$P_e = \eta \frac{1}{2} \rho V^3 A_{fb} \quad \text{Ec. 13}$$

En donde A_{fb} es el área frontal barrida por la hélice. Despejando

$$A_{fb} = \frac{2 P_e}{\eta \rho V^3} \quad \text{Ec. 14}$$

y como $A_{fb} = \pi R^2$, el radio de la hélice resulta:

$$R = \sqrt{\frac{2 P_e}{\pi \eta \rho V^3}} \quad \text{Ec. 15}$$

En esta expresión, V es la velocidad del viento instantánea que, al incidir sobre una turbina con una hélice de radio R , genera una potencia eléctrica P_e .

De la potencia disponible en el viento P_d , sólo una parte puede ser captada por la hélice y el grado de eficiencia de ésta es medido por el coeficiente de potencia C_p . La potencia captada es entonces:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_p \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

ρ : densidad del aire (1.225 kg/m³)

A : área barrida por el rotor (m²)

V : velocidad del viento (m/s)

CP: Coeficiente de potencia del rotor

Para el molino múltipla el máximo valor de C_p puede llegar a 0,12, mientras que una hélice eficiente de dos o tres palas puede alcanzar 0,42. El valor de C_p máx. representa el rendimiento aerodinámico máximo de la hélice. El perfil aerodinámico usado, la longitud y el número de las palas, el alabeo y la variación de la cuerda en función del radio son elementos que determinan, en forma sensible, las performances de la hélice.

Eficiencias de conversión.

La eficiencia aerodinámica en una turbina se denomina coeficiente de potencia C_p , y se define como la razón entre la energía útil disponible y la energía primaria de donde se obtuvo. Las pérdidas de energía en las turbinas se atribuyen principalmente al movimiento rotacional que se provoca entre las aspas y el viento. El coeficiente de potencia depende del tipo y características del aspa del rotor y varía con la razón de velocidad tangencial, definida como la razón instantánea entre la velocidad de punta del aspa y la velocidad del viento. Las eficiencias aerodinámicas de las diferentes configuraciones es solo uno de los factores que deben considerarse para evaluar las aeroturbinas.

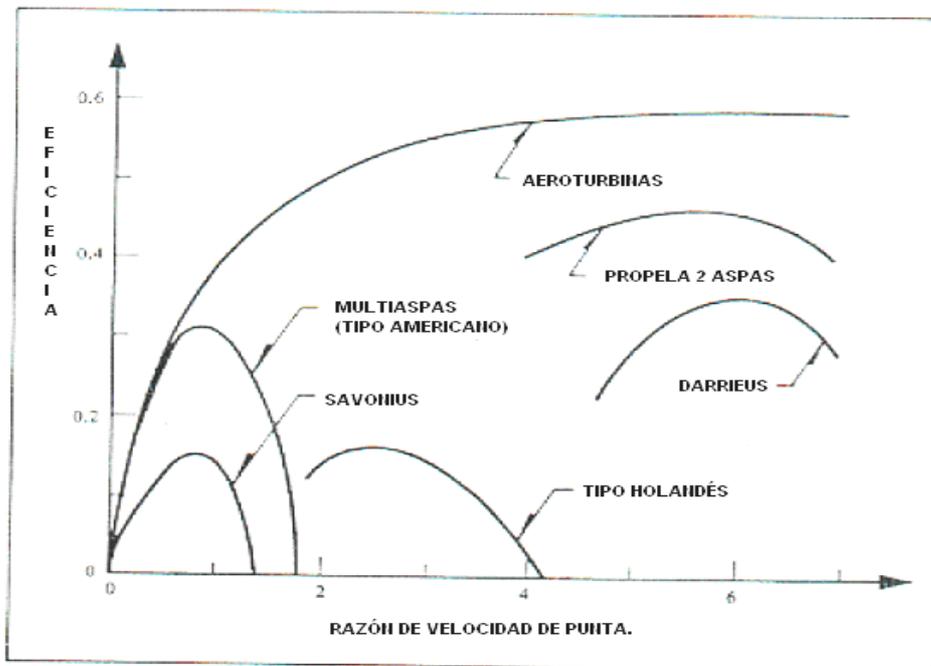


Fig. 4.11 Curvas de comportamiento de diferentes rotores.

La eficiencia teórica de SCEE que se ha obtenido como máximo es de un 60 %, como se menciona anteriormente, a continuación se presenta la siguiente ecuación para obtener la eficiencia de conversión en un sistema con sus respectivas literales.

$$\eta_t = C_p(v) \eta_m \eta_G$$

Ec.17



Ec. 18

P_v = Potencia del viento

P_r = Potencia a la salida del rotor

P_m = Potencia mecánica

P_e = Potencia eléctrica

η_t = Eficiencia de conversión

$C_p(v)$ = Coeficiente de potencia del rotor

η_m = Eficiencia de la transmisión

η_G = Eficiencia del generador

Otro criterio importante en el diseño de las aspas del rotor, es el costo por unidad de potencia instalada o por unidad de energía útil obtenida, son parámetros que se obtienen a través de los años en el área de la investigación y en comparación con otros sistemas generadores de Energía eléctrica. (Alonso y Rodríguez 1985).

4,5,1 Curva de potencia de un aerogenerador.

La curva de potencia de un aerogenerador, es un gráfico que nos indica la potencia eléctrica que es capaz de generar para cada velocidad del viento. El gráfico muestra una curva de potencia de un típico aerogenerador. Las curvas de potencia se obtienen a partir de medidas en campo, donde un anemómetro situado en un mástil toma velocidades del viento y la potencia eléctrica se lee directamente de los aparatos de control del aerogenerador.

La eficiencia de conversión en estos sistemas es como máximo dos terceras partes; del 59% máximo teórico, es decir tienen una eficiencia total del 30 al 40%. Los factores de carga (potencia promedio/potencia nominal) varían entre el 20 y el 30%. La energía anual obtenida es función del diámetro del rotor y las velocidades del viento del lugar de instalación. Los aerogeneradores de mediana y gran escala son de tipo propela de eje horizontal, aunque se investiga también los de tipo darrieus como sistemas alternativos. La factibilidad técnica de los aerogeneradores ha sido comprobada, detallando una serie de puntos como fatiga, tiempo de vida, cargas, controles eléctricos y estabilidad. Los costos de operación y mantenimiento han sido estimados entre el 1 y 2% del costo de capital por año. Con la actual tecnología eoloeléctrica, los aerogeneradores pueden alcanzar una vida útil de 30 años (Alonso y Rodríguez 1985).

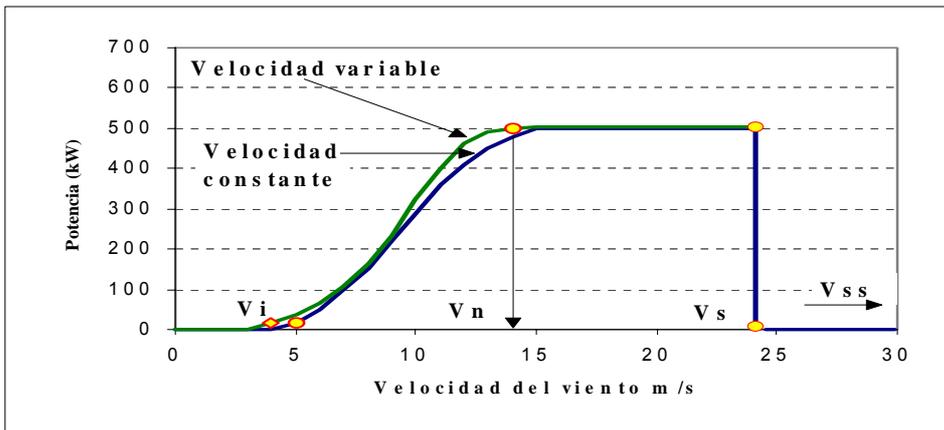


fig. 4.12 curva de potencia para velocidad constante y velocidad variable.

Velocidad (m/s)	Potencia (kW)
3.6	0.0
4.2	0.4
6.8	2.0
9.5	3.7
10.0	4.0
12.2	4.0
15.3	4.0
18.0	4.0
20.0	0.0

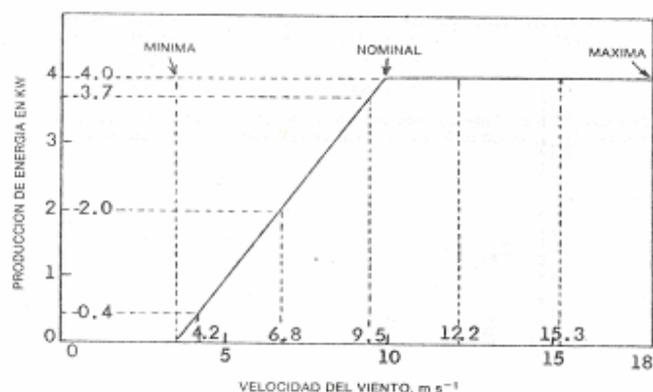


Fig. 4.13 Representación grafica de la curva de potencia de un aerogenerador de pequeña capacidad.

En la Fig. 4.13 Se observa que la potencia nominal de un aerogenerador se encuentra entre un rango de 8 m/s, en este caso el rango de velocidad es de 10 a 18 m/s, en este rango de velocidad nominal se obtiene una corriente de 4 Kw. Y al aumentar la velocidad del viento por encima de los 18 m/s, la corriente generada cae a cero Kw, porque se detiene al aerogenerador como medida de protección. También se puede observar que la velocidad de arranque es de 4.2 m/s y la corriente nominal se alcanza a los 10 m/s generando los 4 KW. (Curso introductorio de energía eólica FIRCO 2005).

4,5,2 Comportamiento del coeficiente de potencia del rotor Eólico.

Para calcular el coeficiente de potencia en un rotor eólico con respecto a velocidad del viento, dividimos el valor de la potencia eléctrica para cada velocidad del viento tomado de la curva de potencia por el área de barrido del rotor, sacamos así la potencia disponible por metro cuadrado. Posteriormente, para cada velocidad, dividimos el resultado anterior por la cantidad de potencia en el viento por m².

La hélice es, posiblemente, el elemento más importante de una turbina eólica por ser el captador de la energía del viento. Al ser expuesta a la corriente de aire, experimenta una baja presión sobre su superficie, generando así un diferencial de presión, en ambos lados de cada hélice, en la parte superior se experimenta una presión más baja y en la parte inferior la presión es más alta; generando así un momento de giro. De la potencia disponible en el viento P_d , sólo una parte puede ser captada por la hélice y el grado de eficiencia de ésta es medido por el coeficiente de potencia C_p . Para el molino multipala el máximo valor de C_p puede llegar a 0,12, mientras que una hélice eficiente de dos o tres palas puede alcanzar 0,42. El valor de $C_{p\text{máx}}$ representa el rendimiento aerodinámico máximo de la hélice. El perfil aerodinámico usado, la longitud y el número de las palas, el alabeo y la variación de la cuerda en función del radio son elementos que determinan, en forma sensible, las performances de la hélice.

El coeficiente de potencia en una turbina eólica se define como la razón entre la energía útil disponible y la energía primaria donde se obtuvo.



Figura 4.14. Comportamiento del coeficiente de potencia en un rotor eólico

Cuando la velocidad nominal de la aeroturbina corresponde al valor máximo de C_p (coeficiente de potencia) y se desea que la velocidad de flecha sea constante, las variaciones de la velocidad del viento con respecto al valor de diseño resultan en una disminución de C_p . (Curso introductorio de energía eólica FIRCO 2005).

4,6 Sistemas de regulación de potencia y velocidad.

4,6,1 Regulación activa por pérdida aerodinámica.

Los grandes aerogeneradores están siendo desarrollados con un mecanismo de regulación activa por pérdida aerodinámica, estas maquinas son parecidas a las maquinas de regulación por ángulo de paso. Para tener un momento de torsión (fuerza de giro) razonablemente alto a bajas velocidades de viento, este tipo de maquinas serán normalmente programadas para girar sus palas como las de regulación por ángulo de paso a bajas velocidades del viento. El rendimiento optimo de los aerogeneradores, depende del ángulo de paso de las palas, el ángulo de paso optimo solo se da para una determinada velocidad del viento, por lo general el ángulo optimo se establece para vientos de bajas velocidades, ya que los vientos fuertes no suelen ser muy frecuentes ni constantes. La torsión de las palas del rotor permiten que el viento llegue desde un ángulo mucho mayor (mas desde la dirección general del viento en el paisaje) conforme nos desplazamos hacia la base de la pala, en el centro del rotor, la pala del rotor dejaría de proporcionar sustentación si el viento llega con un ángulo de ataque demasiado grande. Por lo tanto la pala del rotor debe estar alabeada, con el fin de que el Angulo de ataque sea el óptimo a lo largo de toda la longitud de la misma.

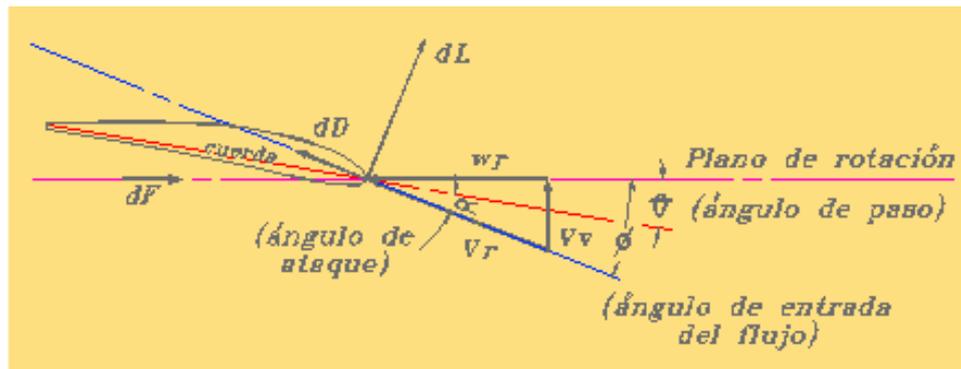


Fig. 4.15 Fuerzas actuantes sobre el perfil aerodinámico.

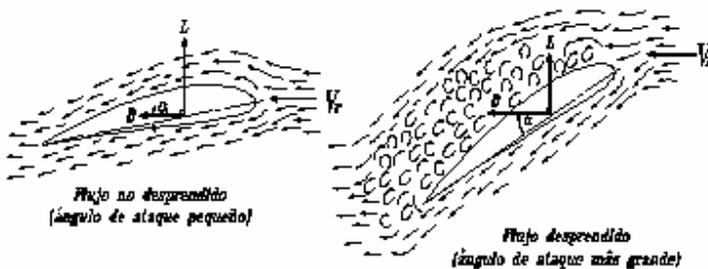


Fig. 4.16 Desprendimiento de flujo sobre un perfil aerodinámico.

El momento de torsión en las aspas de la turbina es generado por las bajas presiones sobre las palas del rotor cuando son atravesadas por una masa de aire. A medida que aumenta la velocidad del viento en la superficie superior la presión se hace más baja, esto es lo que crea la sustentación, es decir la fuerza de empuje hacia arriba, que permite a la turbina girar. La sustentación es perpendicular a la dirección del viento.

4, 6,2 Regulación activa por cambio de ángulo de paso.

En un aerogenerador de regulación por cambio del ángulo de paso, el controlador electrónico de la turbina comprueba varias veces por segundo la potencia generada. Cuando ésta alcanza un valor demasiado alto, el controlador envía una orden al mecanismo de cambio del ángulo de paso, que inmediatamente hace girar las palas del rotor ligeramente fuera del viento. Y a la inversa, las palas son vueltas hacia el viento cuando éste disminuye de nuevo. Así pues, las palas del rotor deben ser capaces de girar alrededor de su eje longitudinal. Durante la operación normal, las palas girarán una fracción de grado cada vez (y el rotor estará girando al mismo tiempo).

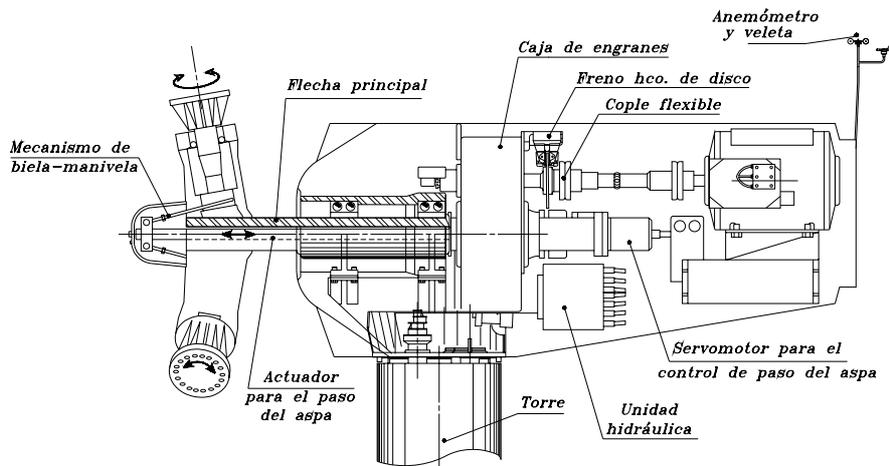


Fig. 4.17 Mecanismo para el control del ángulo de paso.

El diseño de aerogeneradores controlados por cambio del ángulo de paso requiere una ingeniería muy desarrollada, para asegurar que las palas giren exactamente el ángulo deseado. En este tipo de aerogeneradores, el ordenador generalmente girará las palas unos pocos grados cada vez que el viento cambie, para mantener un ángulo óptimo que proporcione el máximo rendimiento a todas las velocidades de viento. El mecanismo de cambio del ángulo de paso suele funcionar de forma hidráulica.

4,7 Dimensionamiento de un banco de baterías.

El recurso eólico no siempre está disponible con la misma potencia todos los días, ni con la misma intensidad durante todo el año, depende principalmente de las condiciones atmosféricas, la energía eólica es un derivado de la energía solar, durante las horas del día es cuando se tiene la mayor potencia eólica, debido a las diferencias de presión ocasionadas por el diferencial de temperatura sobre la superficie terrestre. La necesidad y el Dimensionamiento de un banco de baterías dependen de las características meteorológicas de la región donde se instale una estación eolieléctrica. Y principalmente del régimen de viento que se tenga en la región. La capacidad de autonomía del banco de baterías depende del consumo en kw/hra. Por día o por semana. A continuación se presenta la fórmula para calcular el Dimensionamiento de un banco de baterías, para ajustarlo de acuerdo a la demanda energética deseada.

Dimensionamiento de un Banco de Baterías

$$E_{bat} = \left(\frac{1}{\eta_{bat}} \right) \left(\frac{1}{DOD_{max}} \right) N_{aut} E_{con}$$

Ec. 19

E_{bat} = Tamaño del banco de baterías, Wh

η_{bat} = Eficiencia de la batería (0.7-0.8 plomo-ácido, 0.6-0.7 Níquel-Cadmio)

DOD_{max} = Máxima profundidad de descarga

N_{aut} = Días de autonomía

E_{con} = Demanda de energía por día, Wh

La otra alternativa podría ser la implementación de un sistema híbrido para garantizar un suministro energético continuo, además de tener un banco de baterías se puede implementar un generador acoplado a un motor de combustión interna o un sistema fotovoltaico, son los sistemas híbridos mas empleados en la actualidad y que mejores resultados están aportando.

5, Ventajas Y Desventajas De La Energía Eólica.

5,1 Disponibilidad Del Recurso Eólico Para Su Aprovechamiento Energético.

Los sistemas eolieléctricos para generación de electricidad, pueden proporcionar una fuente práctica y económica de electricidad siempre y cuando:

- El sitio cuente con un buen recurso eólico.
- Su propiedad se encuentra en un área remota con dificultades para el acceso de la red de suministro de electricidad.
- En el área se permite la instalación de torres.
- Si se cuenta con suficiente espacio.
- Puede determinar la demanda energética.
- Es económicamente viable para usted.

Existe una gran carencia de información correctamente documentada, procesada y editada sobre el recurso eólico en México. Esto no implica que no haya recurso o que no se pueda aprovechar. La información existente sobre este valioso recurso ha sido tema de discusión sobre las mesas de expertos y en la actualidad al menos dos organizaciones nacionales están involucradas en la recopilación de la información y su adecuado procesamiento.

La falta de conocimiento de este recurso en cuanto a su potencial, localización, valuación y aprovechamiento, ha sido uno de los principales obstáculos para su apropiada y exitosa explotación. A pesar de lo descrito anteriormente, se sabe cuales son las regiones mas ventosas de México y entre ellas se encuentra Zacatecas y Oaxaca, de ahí que hallan sido elegidos como los primeros estados de la república para la implementación de proyectos eolieléctricos en sistemas de bombeo de agua.

En el país existen un sinnúmero de sitios con recurso eólico aprovechable para grandes y pequeñas aplicaciones pero es necesario que converjan estos sitios,

condiciones de infraestructura, necesidades e interés por parte de los productores. (WTA&M-AEI, et al).

5,2 La Energía Eólica, Alternativa Energética Sustentable.

La energía del viento ha sido reconocida desde hace mucho tiempo como una fuente de energía limpia e inagotable y, con el notable progreso tecnológico que las turbinas eólicas han alcanzado en las últimas décadas, esta fuente se ha convertido en una de las más económicas dentro de las energías renovables. Hoy, las turbinas eólicas están utilizando una tecnología probada y, gracias a ello, pueden proporcionar un suministro energético confiable y duradero. Por esta razón, en la actualidad, la industria eólica se halla en las condiciones más favorables, nunca experimentadas con anterioridad. El desarrollo intensivo de las turbinas eólicas de altas *performances* comenzó en la década del '80. En esos años las turbinas se encontraban transitando las primeras etapas de su evolución, y los especialistas tuvieron que enfrentar problemas técnicos de las más variadas características. Los pasos iniciales no fueron simples y un gran esfuerzo fue realizado para analizar la respuesta dinámica de las turbinas frente a las condiciones cambiantes del viento. En su funcionamiento, las turbinas eólicas actúan como un filtro, que debe amortiguar y no amplificar la excitación variable que produce el viento. Las turbinas de buen diseño son capaces de captar la energía y funcionar suavemente, sin producir vibraciones.

5,3 Ventajas De La Energía Eólica.

¿Por qué elegir la energía eólica?

Los sistemas de energía eoloelectrónica cuentan con las mejores relaciones costo/beneficio para aplicaciones de energía en los hogares. Dependiendo del recurso eólico, según investigaciones indican que una turbina eólica puede reducir la facturación energética desde un 50% a un 90% y de reducir los altos costos por extender las redes de suministro a sitios remotos, prevenir interrupciones de energía y además no es contaminante.

La energía eólica no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático. Es una tecnología de aprovechamiento totalmente madura y puesta a punto.

Es una de las fuentes más baratas, puede competir en rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales como las centrales térmicas de carbón (considerado tradicionalmente como el combustible más barato), las centrales de combustible e incluso con la energía nuclear, si se consideran los costos de reparar los daños medioambientales.

El generar energía eléctrica sin que exista un proceso de combustión o una etapa de transformación térmica supone, desde el punto de vista medioambiental, un procedimiento muy favorable por ser limpio, exento de problemas de contaminación, etc. Se suprimen radicalmente los impactos originados por los combustibles durante su extracción, transformación, transporte y combustión, lo que beneficia la atmósfera, el suelo, el agua, la fauna, la vegetación, etc.

Evita la contaminación que conlleva el transporte de los combustibles; gas, petróleo, gasoil, carbón. Reduce el intenso tráfico marítimo y terrestre cerca de las centrales. Suprime los riesgos de accidentes durante estos transportes: desastres con petroleros (traslados de residuos nucleares, etc.). No hace necesaria la instalación de líneas de abastecimiento: Canalizaciones a las refinerías o las centrales de gas.

La utilización de la energía eólica para la generación de electricidad presenta nula incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo o su erosionabilidad, ya que no se produce ningún contaminante que incida sobre este medio, ni tampoco vertidos o grandes movimientos de tierras.

Al contrario de lo que puede ocurrir con las energías convencionales, la energía eólica no produce ningún tipo de alteración sobre los acuíferos ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos. La generación de electricidad a partir del viento no produce gases tóxicos, ni contribuye al efecto invernadero, ni destruye la capa de ozono, tampoco crea lluvia ácida. No origina productos secundarios peligrosos ni residuos contaminantes.

Cada Kwh. de electricidad generada por energía eólica en lugar de carbón, evita:

0,60 Kg. de CO₂, dióxido de carbono.

1,33 gr. de SO₂, dióxido de azufre.

1,67 gr. de NOx, óxido de nitrógeno.

La electricidad producida por un aerogenerador evita que se quemen diariamente miles de litros de petróleo y miles de kilogramos de lignito negro en las centrales térmicas. Ese mismo generador produce idéntica cantidad de energía que la obtenida por quemar diariamente 1.000 Kg. de petróleo. Al no quemarse esos Kg. de carbón, se evita la emisión de 4.109 Kg. de CO₂, lográndose un efecto similar al producido por 200 árboles. Se impide la emisión de 66 Kg. de dióxido de azufre -SO₂- y de 10 Kg. de óxido de nitrógeno -NOx- principales causantes de la lluvia ácida.

La energía eólica es independiente de cualquier política o relación comercial, se obtiene en forma mecánica y por tanto es directamente utilizable.

Al finalizar la vida útil de la instalación, el desmantelamiento no deja huellas.

Un Parque de 10 MW:

Evita: 28.480 Tn. Al año de CO₂.

Sustituye: 2.447 Tep. Toneladas equivalentes de petróleo.

Aporta: Trabajo a 130 personas al año durante el diseño y la construcción.

Proporciona: Industria y desarrollo de tecnología.

Genera: Energía eléctrica para 11.000 familias.

5,4 Compatibilidad Con La Agricultura Y El Medio Ambiente.

Los sistemas eoloeléctricos entre otras ventajas, son compatibles con la agricultura y el medio ambiente, ya que se pueden instalar y configurar centrales eoloeléctricas sobre los terrenos agrícolas cultivables, ya que las áreas agrícolas ofrecen gran potencial y eficiencia para las granjas eólicas, estas requieren de terrenos despejados, libres de turbulencias, y con un buen potencial eólico. Los sistemas eoloeléctricos a su vez requieren de poco espacio para la cimentación de las torres sobre el terreno, para poder aprovechar el potencial eólico de la zona. Por lo tanto no afectan ni interrumpen las áreas productivas y ganaderas.

5,5 Aspectos Que Favorecen El Desarrollo De Proyectos Eoloeléctricos.

Los aspectos técnicos son importantes para asegurar la implementación exitosa de proyectos con energías renovables, aunque esto no es suficiente para lograr el futuro de un proyecto. En todos los proyectos de desarrollo, la consideración de los aspectos institucionales es crítica para el éxito a largo plazo.

- a) **Sustentabilidad:** es el logro continuo del desarrollo económico sin detrimento de los recursos ambientales y naturales. Por ejemplo el uso de tecnologías de energía renovable para el bombeo de agua en áreas rurales, la sustentabilidad proporciona al usuario el acceso local a proveedores calificados, equipos de alta calidad, capacidad de mantenimiento a precios y planes de pago a razonables.
- b) **Todos los involucrados:** para que un proyecto o un sistema, en una población u organizaciones mas pequeñas sea sustentable a largo plazo, el proyecto debe cumplir con la demanda y debe estar al alcance de compra. La mejor manera de integrar las prioridades de los diferentes grupos es por medio de un método que incluya a todos los interesados en el desarrollo del proyecto la participación significa una amplia consulta y una discusión abierta. Los usuarios necesitan estar personalmente interesados en la sustentabilidad del proyecto durante todo el periodo para el que fue diseñado. Dentro de los principales involucrados están: población o usuarios distribuidos, comercios y empresas locales, secretarias de Agricultura, Energía, Agua, etc. Desarrollador del proyecto, diseñador del sistema, administración del sistema y organizaciones de crédito.
- c) **Otros:** consideraciones institucionales, Aspectos políticos, formación de capacidad, Educación y capacitación, Asistencia técnica, Infraestructura, Programas, Planes Estratégicos, proyectos piloto, etc. (WTA&M-AEI, et al).

5,6 Desventajas De La Energía Eólica.

- d) El aire al ser un fluido de pequeño peso específico, implica fabricar máquinas grandes y en consecuencia caras. Su altura puede igualar a la de un edificio de diez o más plantas, en tanto que la envergadura total de sus aspas alcanza la veintena de metros, lo cual encarece su producción.

- e) Desde el punto de vista estético, la energía eólica produce un impacto visual inevitable, ya que por sus características precisa unos emplazamientos que normalmente resultan ser los que más evidencian la presencia de las máquinas (cerros, colinas, litoral). En este sentido, la implantación de la energía eólica a gran escala, puede producir una alteración clara sobre el paisaje, que deberá ser evaluada en función de la situación previa existente en cada localización.
- f) Un impacto negativo es el ruido producido por el giro del rotor, pero su efecto no es mas acusado que el generado por una instalación de tipo industrial de similar entidad, y siempre que estemos muy próximos a los molinos.
- g) También ha de tenerse especial cuidado a la hora de seleccionar un parque si en las inmediaciones habitan aves, por el riesgo mortandad al impactar con las palas, aunque existen soluciones al respecto como pintar en colores llamativos las palas, situar los molinos adecuadamente dejando "pasillos" a las aves, e, incluso en casos extremos hacer un seguimiento de las aves por radar llegando a parar las turbinas para evitar las colisiones.

6.- EL MERCADO DE LA ENERGIA EOLICA EN MEXICO.

RESUMEN Y PRINCIPALES CONCLUSIONES

El mercado de la energía eólica y de las energías renovables en México es un mercado inmaduro, en el cual ni siquiera ha iniciado la fase de crecimiento. En el presupuesto del país figuran otras prioridades antes que la búsqueda de fuentes energéticas menos contaminantes pero más costosas, según diversos estudios, las reservas de petróleo en el país duraran al menos 12 años más. Por otro lado, según las cuotas marcadas por el protocolo de Kyoto, México está todavía en condiciones de aumentar sus vertidos de CO₂ a la atmósfera, por lo que no es previsible en el corto o medio plazo que las renovables en México experimenten un auge similar al experimentado en Europa.

En cuanto a los diferentes tipos de energías renovables, quizá la que mejores expectativas presente sea la energía eólica, dado el gran potencial que presenta a partir del mapa eólico mexicano y a que está creciendo paulatinamente. El aprovechamiento hasta el momento sin embargo es pequeño. Los puntos negros que presenta la energía eólica son una cierta falta de seguridad jurídica por una regulación todavía algo escasa en este campo, y también a la lentitud con la que se procesan las solicitudes para obtener un permiso de autoabastecimiento. (<http://www.icex.es/protocolokioto/>).

6.1 ANALISIS DE LA OFERTA.

6.1.1 ANALISIS CUANTITATIVO.

En México, la principal fuente de energía es proveniente de los combustibles fósiles, a pesar de esto, el gobierno mexicano esta incidiendo en el fomento de energías renovables, con la finalidad de minimizar los daños al medio ambiente. En la mayoría de los casos, debido a la falta presupuestaria, hacen que estos intentos por promover las energías renovables se quede en cifras casi testimoniales, pero no cabe duda en que el problema medioambiental empieza a figurar entre algunas propuestas y realidades políticas.

México tiene una serie de ventajas que juegan a su favor a la hora de fomentar

las energías renovables: su ubicación geográfica y orográfica permite disponer de un significativo potencial de generación eléctrica con energía renovable, y la naturaleza dispersa de estas energías, brinda una considerable oportunidad para la generación eléctrica de forma distribuida. Por ello el Instituto de Investigaciones Eléctricas desarrolla un Sistema de Información Geográfica para ubicar estos recursos dentro del territorio nacional.

Yendo a los números, según la principal eléctrica del país, la CFE (Comisión Federal de Electricidad), al cierre del mes de junio de 2006, la capacidad efectiva instalada para generar energía eléctrica era de 46,176.76 Megavatios (MW), de los cuales: 8,770.90 MW son de productores independientes (termoeléctricas); 10,284.98 MW son de hidroeléctricas; 22,194.33 MW corresponden a las termoeléctricas; 2,600.00 MW a carboeléctricas; 959.50 MW a geotermoeléctricas; 1,364.88 MW a la nucleoelectrica, y 2.18 MW a la eoloeléctrica. (Comisión Federal de Electricidad (CFE). Junio 2006)

Capacidad efectiva instalada de generación.

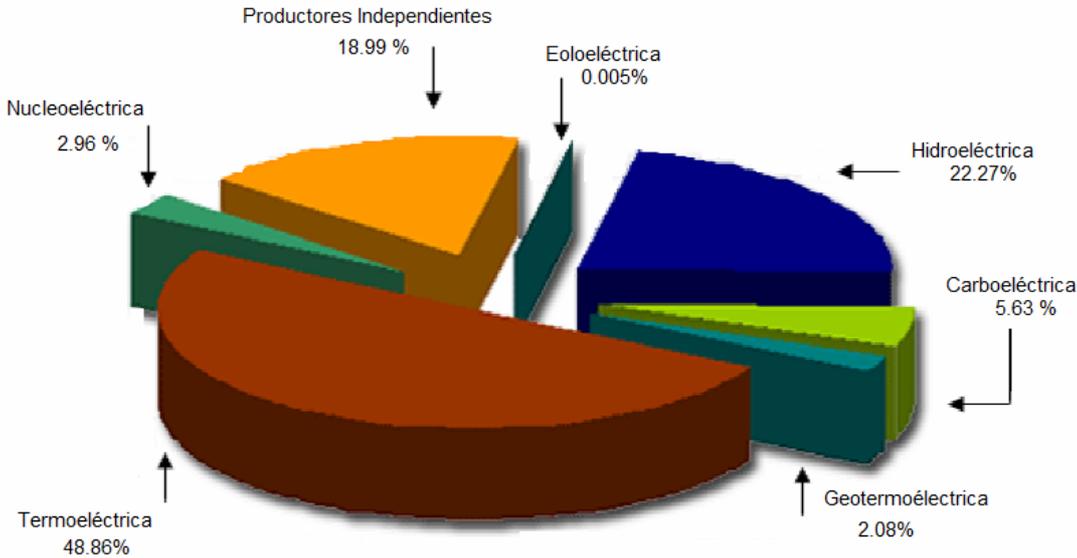
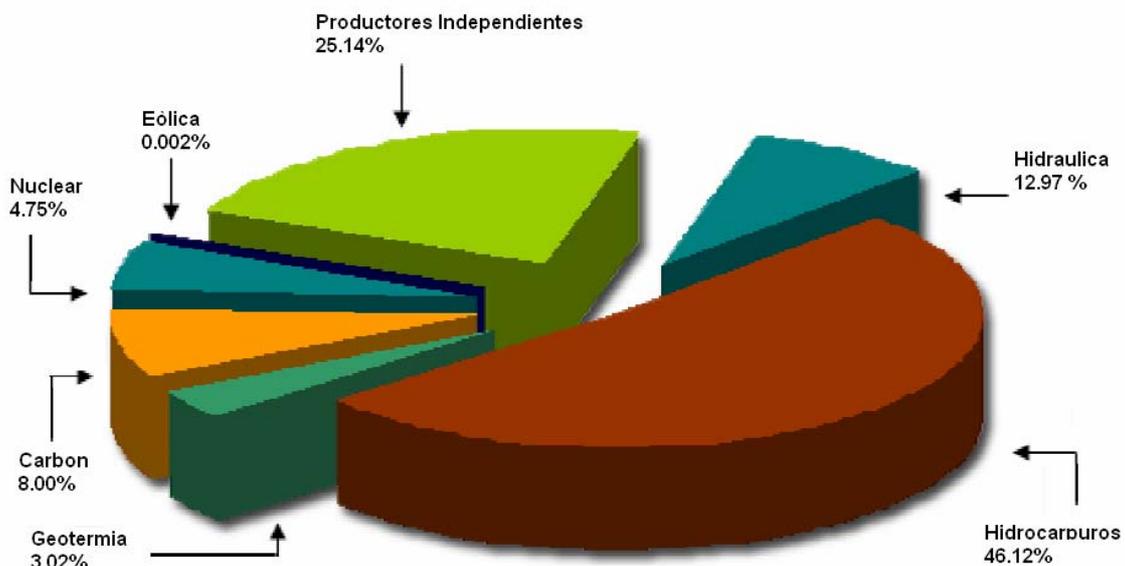


Fig. 6.1 Capacidad efectiva instalada de generación.
Fuente: comisión federal de electricidad (CFE). Junio 2006

Generación por fuente:



Fuente: Comisión Federal de Electricidad (CFE). Junio 2006

Fig. 6.2 Generación por fuente.

Como puede verse en el primer gráfico, la producción de electricidad a través de fuentes de energía eólica, se queda en el 0,005%, y la producción a través de módulos solares fotovoltaicos ni siquiera se considera. En la tabla que figura a continuación, la Asociación Nacional de Energía Solar nos da cifras para la potencia instalada en los sectores eólico y solar algo más optimistas:

El mercado de la energía eólica en México.

Eólica	Aerogeneradores de electricidad	Generación eléctrica
	Total instalados en 2003: 6.9 Kw.	
	Acumulado total hasta 2003: 2,529.4 Kw.	
	Factor de capacidad medio: 0.4	
	Generación secundaria de electricidad = 0.0319 Petajoules	
	Aerobombas de agua (papalotes de agua)	Bombeo de agua
	Total instalados en 2003: 5 Kw.	
	Acumulado hasta 2003: 2,166 Kw.	
	Factor de capacidad medio: 0.25	
	Generación de energía mecánica = 0.0171 Petajoules	

Cuadro 6.1 El mercado de la energía eólica en México

Según la Secretaría de Energía, estos son los datos de capacidad y producción a partir de energías renovables:

Capacidad Efectiva de Energías Renovables

DESCRIPCION (MW)	ENE/2006	FEB/2006	MAR/2006	ABR/2006	MAY/2006	JUN/2006
TOTAL	11,482.983	11,482.983	11,482.983	11,482.983	11,482.983	11,482.990
GEOTERMIA	959.50	959.50	959.50	959.50	959.50	959.50
EOLICA	2.175	2.175	2.175	2.175	2.175	2.180
HIDROELECTRICA	10,521.308	10,521.308	10,521.308	10,521.308	10,521.308	10,521.310

Cuadro 6.2 Capacidad efectiva de energías eólicas.

FUENTE: BALANCE NACIONAL DE ENERGIA. SECRETARIA DE ENERGIA. GENERACION BRUTA A PARTIR DE ENERGIAS RENOVABLES.

DESCRIPCION (MW)	ENE/2006	FEB/2006	MAR/2006	ABR/2006	MAY/2006	JUN/2006
TOTAL	2,687,123.220	2,486,241.782	3,320,954.258	2,939,169.851	3,364,892.902	3,022,052.849
GEOTERMIA	605,033.647	554,174.777	631,700.167	558,191.518	539,952.223	403,339.120
EOLICA	382.490	359.189	369.803	285.816	196.042	354.770
HIDROELECTRICA	2,081,707.083	1,931.707.816	2,688,884.288	2,380,692.517	2,825,104.637	2,618,358.959

Cuadro 6.3 Generación bruta a partir de energías renovables.

FUENTE: BALANCE NACIONAL DE ENERGIA. SECRETARIA DE ENERGIA.

6.1.2. ANALISIS CUALITATIVO.

La energía eólica actualmente ya se considera tecnológicamente desarrollada para la generación de energía eléctrica. Comercialmente se encuentran disponibles aerogeneradores desde 0,5 hasta 1,5 de potencia nominal, también existen prototipos con una potencia de 3,0 MW.

En México se cuenta con un gran potencial eólico, el cual se considera que puede ascender a los 5,000 MW económicamente aprovechables en zonas identificadas como lo son el sur del Istmo de Tehuantepec; las penínsulas de Baja California y Yucatán; la región de Zacatecas y hasta la frontera con Estados Unidos de

América; así como también la región central del altiplano y las costas del país. Y actualmente sólo el 0,1% es aprovechado.

La CFE ha instalado dos plantas eólicas piloto con el objetivo de adentrarse en esta tecnología y reconocer sus ventajas y validar su integración al Sistema Eléctrico Nacional: la central de 600 KW en la población de Guerrero Negro, Baja California Sur, que entró en operación en 1998, y la construcción de la central de La Venta en el estado de Oaxaca, con 1,6 MW que se puso en operación en agosto de 1994. Adicionalmente en pequeños aerogeneradores y aerobombas de agua, se calculan en más de 2 MW eólicos, los instalados en todo el país. Cabe destacar también el papel que la CFE ha tomado para el desarrollo de la eoloelectricidad en la región de la Ventosa, donde se planea llevar a cabo un proyecto de 101 MW (La Venta II).

6.2 ANALISIS DEL COMERCIO

6.2.1. ANALISIS CUANTITATIVO.

En las tablas siguientes figuran las estadísticas de importación y exportación de las partidas arancelarias correspondientes a las tecnologías empleadas para la obtención de energía eólica y solar, 85023101 y 85414001 respectivamente.

Las exportaciones de aerogeneradores desde México han sido prácticamente nulas, al no disponer este país de la tecnología necesaria para su fabricación.

Exportaciones – Aerogeneradores.

Pais	Valor 2006 ene-abr	Volumen 2006 ene-abr	Valor 2005 ene-dic	Volumen 2005 ene-dic	Valor 2004 ene-dic	Volumen 2004 ene-dic	Valor 2003 ene-dic	Volumen 2003 ene-dic	Valor 2002 abr-dic	Volumen 2002 abr-dic
Total	0	0	4,463	53	74,640	5	0	0	7,110	2
ITALIA (REPUBLICA ITALIANA)	0	0	0	0	0	0	0	0	7,110	2
ESTADOS UNIDOS DE AMERICA	0	0	4,463	53	74,640	5	0	0	0	0

Cuadro 6.4 Exportaciones de aerogeneradores.

En la siguiente tabla se puede observar cómo España figura en un lugar destacado en cuanto a exportaciones a México de aerogeneradores, aunque muy lejos del principal exportador, Estados Unidos.

Importaciones – Aerogeradores.

Pais	Valor 2006 ene-abr	Volumen 2006 ene-abr	Valor 2005 ene-dic	Volumen 2005 ene-dic	Valor 2004 ene-dic	Volumen 2004 ene-dic	Valor 2003 ene-dic	Volumen 2003 ene-dic	Valor 2002 abr-dic	Volumen 2002 abr-dic
Total	143,557	51	108,606	139	106,623	111	41,795	78	26,832	26
ESTADOS UNIDOS DE AMERICA	106,462	23	91,406	122	92,850	82	33,656	23	19,366	21
REINO UNIDO DE LA GRAN BRETAGA E IRLANDA DEL NORTE	23,815	1	1,023	1	0	0	0	0	0	0
HONG KONG (REGION ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE LA REPUBLICA)	9,019	24	0	0	0	0	0	0	0	0
ESPAÑA (REINO DE)	3,992	2	12,419	6	0	0	0	0	0	0
CHINA (REPUBLICA POPULAR)	269	1	3,758	10	9,854	12	0	0	0	0
ALEMANIA (REPUBLICA FEDERAL DE)	0	0	0	0	0	0	1,773	45	0	0
FRANCIA (REPUBLICA FRANCESA)	0	0	0	0	3,500	16	0	0	0	0
ITALIA (REPUBLICA ITALIANA)	0	0	0	0	0	0	0	0	2,700	1
JAPON	0	0	0	0	0	0	752	4	4,766	4
COREA (REPUBLICA DE) (COREA DEL SUR)	0	0	0	0	0	0	486	1	0	0
SINGAPUR (REPUBLICA DE)	0	0	0	0	419	1	0	0	0	0
TAIWAN (REPUBLICA DE CHINA)	0	0	0	0	0	0	5,128	5	0	0

Cuadro 6.5 Importaciones de Aerogeneradores.

6.2.2 Precios de la Energía Eólica.

Los costos típicos de inversión en instalaciones para el aprovechamiento de la energía eólica están entre 900 y 1.400 USD/KW instalado, y los costos nivelados de generación se encuentran en un rango de 3,5 a 4,0 USD/Kwh. En el desarrollo de proyectos eólicos, el monto de la inversión está conformado principalmente por los siguientes elementos: costo del aerogenerador (75%), torres, obra civil, cableado, transformadores, subestación eléctrica, línea de transmisión (14%). De acuerdo con la experiencia nacional en la instalación de centrales eólicas, los montos fueron: para el caso de la central de la Venta en Oaxaca de 1,357 USD/KW, y para la central de Guerrero Negro en el estado de Baja California Sur, de 1.400 USD/KW. Sin embargo en los sitios con vientos catalogados como excelentes, como es el caso de Tehuantepec, los costos de generación que se obtienen están por debajo del promedio, volviéndose más atractivos. Además se proyecta que en los próximos años se tengan considerables reducciones en la inversión y los costos de generación para hacerla una opción más competitiva frente a las energías convencionales.

6.2.3 Principales distribuidores de la Energía Eólica.

No hay apenas fabricación en México de aerogeneradores. La empresa más importante dedicada a ello es "**Fuerza Eólica, S.A. de C.V.**", fabricantes desde hace 15 años de generadores eléctricos para los molinos de viento, e igualmente explotadores de parques eólicos. Ahora mismo están inmersos en su proyecto "Fuerza Eólica de Istmo", en el Istmo de Tehuantepec.

La empresa "**Papalotes Felizardo Elizondo**" son también fabricantes de aerogeneradores.

"**Eléctrica del Valle de México**" es propietaria de un proyecto en Oaxaca en el que está generando energía eléctrica eólica bajo la modalidad de autoabastecimiento por medio de 120 aerogeneradores.

El resto de empresas del sector mexicanas son meros distribuidores, entre los que destacan:

Energía Limpia de México; Industria eléctrica de México; Energía alternativa de México; Energías Alternas, S.A. de C.V. (que importan generadores Air-X y Whisper 100), Sistemas

Energéticos de Oaxaca, S.A. de C.V. e Inelecса, que distribuye aerogeneradores de marca Windpower.

Las empresas extranjeras del sector son:

Gamesa Eólica.- Empresa española líder en sector de fabricación, venta e instalación de turbinas eólicas. Es la segunda compañía por volumen de ventas a nivel mundial. Cuenta con 12 centros de producción en el mundo. Además también se centra en la instalación y mantenimiento de los equipos. Actualmente están desarrollando un proyecto en compañía de la mexicana Cisa también en la Ventosa (Oaxaca), aunque aún les falta conseguir el permiso de generación.

Electricidad de Francia.- Se encuentra en una fase bastante avanzada de su proyecto

Eólico en Oaxaca.

Endesa.- También tiene instalaciones eólicas en Oaxaca.

Iberdrola.- Esta empresa tiene una posición muy privilegiada en México, y entre todos los proyectos que está desarrollando de producción de energía también hay uno eólico en Oaxaca.

General Electric Wind.- Este gigante estadounidense, además de fabricar aerogeneradores tiene algún proyecto eólico en México.

Vestas.- Este grupo danés es el primer productor de aerogeneradores a nivel mundial y al igual que las anteriores cuenta con instalaciones en Oaxaca.

6.2.4 Análisis Cualitativo.

Para este tipo de proyectos de suministro de energía, la administración a través de su Secretaría de Energía abre un concurso público en el cual las empresas competidoras, basándose en sus costos de producción y en la rentabilidad esperada, darán un precio secreto a la administración indicando a qué costo están dispuestas a vender el Kwh de energía producido. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Monterrey. La administración seleccionará una de las empresas y se limitará a pagar la producción de la planta cuando entre en funcionamiento. La ventaja de este sistema, es que las empresas que se presentan a la licitación realizan sus cálculos y en base a ellos elaboran una oferta. En caso de resultar ganadora, los ingresos están garantizados a la rentabilidad acordada según la oferta presentada. De este modo el riesgo se reduce considerablemente, puesto que al ser la CFE una compañía estatal, su fiabilidad es elevada.

El funcionamiento de los contratos de licitación en la CFE se rige a través de la Dirección de Proyectos de Inversión Financiada, que busca la participación de inversionistas que participen en la contratación de los proyectos de infraestructura eléctrica, bajo las modalidades de Productor Externo de Energía (PEE), Obra Pública

Financiada (OPF) y servicios asociados que se requieren para cumplir con el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE) que se elabora con un horizonte de diez años y se revisa anualmente.

6.3 Análisis de la demanda.

6.3.1 Tendencias generales del consumo.

Factores sociodemográficos y de consumo.

La población de México aumenta y sus reservas de petróleo disminuyen cada año. Este hecho ha provocado que las autoridades mexicanas comiencen a tener en cuenta la promoción de fuentes de energía renovables, si bien naturalmente los límites presupuestarios evitan que la inversión en este tipo de energías por parte del gobierno sea muy elevada.

Factores económicos.

Una de las razones por las que muchos empresarios no se animan a que sus empresas utilicen energía procedente de instalaciones solares es que teniendo en cuenta el tiempo medio de vida de las empresas y el tiempo medio de vida de una instalación de este tipo, es más que probable que la actividad de la empresa cese antes de que la instalación haya sido amortizada, con lo que no resulta atractiva la inversión.

Para financiamiento de proyectos eólicos, hidráulicos o bioenergéticos de mayor volumen, se recomienda consultar con el departamento internacional del banco de preferencia las posibilidades de financiación que pueden ofrecer a través de los mecanismos dispuestos para ello por parte de COFIDES (Compañía Española de Financiación al Desarrollo).

Tendencias sociopolíticas y legislativas.

En el ámbito de la energía eólica los grandes obstáculos que impiden el desarrollo de esta energía son: En primer lugar la falta de seguridad jurídica, ya que la regulación de las energías renovables en México es muy escasa y deficiente,

únicamente cuentan con la regulación particular del contrato de interconexión. Además la poca seguridad jurídica provoca que los proyectos se encarezcan mucho con el tema de los permisos o los terrenos (ya que son normalmente propiedades privadas). Según Pablo Gottfried, director comercial de la empresa Fuerza Eólica S.A. de C.V., no hay un apoyo político real, solo se toman medidas improvisadas a corto plazo, pero no hay una iniciativa política firme al respecto. Todo ello a causa principalmente del monopolio energético de la CFE, que no busca demasiado el impulso de las renovables, su máxima es conseguir energía al menor precio posible, y no piensan en el ahorro a largo plazo. Y es que la actitud de CFE con respecto a las renovables es de desconfianza, y no valoran que la tecnología eólica sea tan madura como es ni el éxito que está teniendo en otros países como Alemania o España. Aunque detrás de todo esto hay intereses ideológicos y en concreto de recelo, porque CFE tiene sus propios proyectos de renovables, y lo que retrasa y deniega son permisos de autoabastecimiento ya que piensa que con ello sus clientes disminuyen. El problema de todo esto es que si bien parece que toda la autoridad sobre los permisos para generar electricidad los tiene la CRE, a la hora de la verdad, la autoridad técnica (CFE) es la que decide y a la que la CRE debe consultar para la aprobación de proyectos con renovables, y la CFE tiene por costumbre retardar y paralizar los proyectos de energías renovables. Otro obstáculo a considerar es el arduo y lento *proceso burocrático* para obtener los permisos, lo cual también acaba incrementando el costo. Finalmente, en México el mecanismo del banco de energía regulado en el contrato de interconexión no es demasiado eficiente desde el momento en que la CFE cobra por ofrecer ese respaldo, y ello provoca que los proyectos de renovables no lleguen a resultar muy atractivos para los inversores.

Tendencias y planes gubernamentales

El desarrollo sostenible, como eje fundamental de las políticas públicas de México está definido por el Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006 (PND). Dicho plan propone que para lograr un crecimiento con calidad es necesario actualizar el uso de instrumentos en la gestión del Medio Ambiente y de los recursos naturales. Éste considera no sólo el progreso económico, sino también el desarrollo social.

Del Programa Nacional de Desarrollo se deriva el Programa Sectorial de Energía 2001-2006 (PSE), que tiene entre sus metas que para el año 2006 se hayan instalado 1.000 MW de energías renovables, incluidas los proyectos hidroeléctricos.

Asimismo en el Programa Sectorial de Energía se busca garantizar el abasto de energéticos y que estos sean de alta calidad, lo que supone la necesidad de actuar tanto sobre la demanda (eficiencia energética y ahorro de energía) como sobre la oferta energética (diversificación de fuentes de energía, desarrollo de energías limpias y programas de gestión ambiental).

Tendencias tecnológicas.

La tecnología aplicada en cualquiera de las formas de transformación de energía a partir de fuentes renovables se ha venido desarrollando en los últimos años haciendo que la potencia del vatio producido sea cada vez más barato.

En el ámbito de la normativa técnica aplicable para la generación de electricidad, la fabricación de generadores tiene que tener en cuenta normas como la certificación ISO, las Normas Mexicanas y toda persona que quiera introducirlos en México tendrá que considerar éstas. Pero no es una normativa referida sólo a renovables, sino general, para todo tipo de generadores.

6.3.2 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL CONSUMIDOR

Agentes consumidores.

Existen claras diferenciaciones entre los distintos usuarios de energías renovables, tanto por sus características como por el volumen de energía consumida y la rentabilidad que comportan las distintas aplicaciones:

Hogares

Las familias son usuarias de las energías renovables, y estas les son útiles en las siguientes aplicaciones.

- Generar electricidad para múltiple usos, para lo cual se pueden utilizar células fotovoltaicas y generadores eólicos.
- Calentar agua para baños y cocina por medio de colectores solares planos
- Calentar el agua de una piscina por medio de colectores solares planos.
- Calentar el aire para los espacios interiores en tiempos de frío usando para ello colectores solares.
- Cocción de alimentos usando la tecnología de la biomasa y estufas solares.
- Acondicionamiento de aire por medio de fotoceldas y enfriadores solares.

Agricultura, ganadería y pesca.

Estas actividades pueden utilizar las energías renovables para estos usos:

- Bombeo de agua para riego usando fotoceldas y energía eólica
- Secado de granos, hierbas, pescado, y en general productos perecederos por medio de calentadores solares
- Sistemas de desalinización y purificación de agua con calentadores solares
- Precalentamiento de agua y otros fluidos usando calentadores solares
- Refrigeración solar para enfriamiento y producción de hielo con energía eólica.

6.4 ANEXOS

6.4.1 LISTADO DE DIRECCIONES DE INTERÉS

Listado de empresas:

Energía Eólica.

FUERZA EÓLICA, S.A. DE C.V.

C/ Año de Juárez, 205

Col. Granjas de San Antonio

09070 México, D.F.

Tfl. (52 55) 5685 7030

Contacto: Pablo Gottfried

Desarrollo de Proyectos Eólicos y fabricación de generadores eólicos.

www.fuerzaeolica.com

PAPALOTES FELIZARDO ELIZONDO

Carr. Miguel Alemán, Km. 23,5

Col. Centro

66600 Apodaca, Nuevo León

Tfl. (52 81) 8145 0202

Contacto: Gerardo Elizondo Elizondo

Fabricación de molinos de viento.

www.papalotes.com.mx

ELÉCTRICA DEL VALLE DE MÉXICO S. RL DE C.V.

C/ Matamoros, 9

Col. del Carmen; Delegación Coyoacán

04100 México, D.F.

Tif: (52 55) 5659 0026

Desarrollo de proyectos eólicos.

GAMESA EÓLICA, S.A.

Pol. Industrial Agustinos, s/n

31013 Pamplona

Navarra

Tif: 948 309 010

Contacto: Pedro Artiago

Desarrollo de Proyectos eólicos

www.gamesa.es

ELECTRICIDAD DE FRANCIA

Coeur Défense - Immeuble B1

La Défense 4

90, Esplanade du Général de Gaulle

92933 PARIS LA DÉFENSE CEDEX (France)

www.edf.fr

ENDESA

C/ Ribera del Loira, 60

28042 Madrid

Desarrollo de proyectos eólicos

www.endesa.es

IBERDROLA

Bld. Manuel Ávila Camacho 24-19º

Edificio Torre del Bosque

Lomas de Chapultepec

11000 México, D.F.

Tif: (52 55) 5585 0346

Desarrollo de proyectos eólicos

www.iberdrola.com

VESTAS WIND SYSTEMS

Alsbej, 21

8900 Randers

Denmark

Tif: (45) 9730 0000

Desarrollo de proyectos

www.vestas.com

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

SITIO EXPERIMENTAL

Ubicación geográfica.

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, departamento de Riego y Drenaje, ubicada en Buenavista, municipio de Saltillo, Coahuila y cuyas coordenadas geográficas son 25° 21´20” de Latitud Norte y 101° 01´30” de Longitud Oeste y a una altitud media sobre el nivel del mar de 1743 m.

Clima.

De acuerdo al sistema de Köppen modificado por E. García (1964), el clima de la región comprendida para Buenavista, Saltillo, Coahuila., es representado por Bso K(x') (e); donde los términos significan:

Bso.- Es el más seco de los BS, con un coeficiente de P/T .

K.- Templado con verano cálido, temperatura media anual entre 12 y 18°, la del mes más frío entre -3 y 18°C y la del mes más caliente de 18°C.

x'.- Régimen de lluvia intermedio entre verano e invierno.

La precipitación media anual es de 345 milímetros.

Los meses lluviosos en el año son de junio a septiembre, siendo el más lluvioso el mes de junio.

Material y equipo utilizado.

En la siguiente lista que se presenta a continuación se presenta la relación material y equipo utilizado para realizar el diseño y los ajustes requeridos en el generador eólico.

1. multímetro
2. tacómetro.
3. Escala Beaufort

4. regulador de corriente.
5. dos baterías estacionarias de 1200 AH. (C 100).
6. 20 mts de cable # 12.
7. Lamina Galvanizada.
8. un alternador de 65 amperes.
9. un tubo de acero de 1.5 m X 2" de diámetro.
10. 4 tornillos de 4" X 9/16".
11. Dos poleas de 16" y 8"
12. un niple de 10" X 2".
13. un cople de 2".
14. una base de concreto para la instalación del generador.
15. ½ litro de pintura de aceite de color Azul.
16. ½ litro de pintura de aceite de color blanco.
17. ½ litro de pintura de aceite de color Oro.
18. 2 brochas de 2"
19. 2 hojas de lijas.
20. Datos meteorológicos.
21. Mapas topográficos de la zona de estudio.

Descripción del generador a evaluar.

El aerogenerador a evaluar, se construyó de manera sencilla, utilizando los materiales que se tenían al alcance, así como el equipo disponible en los laboratorios de la universidad. El rotor eólico se construyó a partir de las aspas de unos extractores de aire fuera de servicio, el cual se adaptó al extremo de una flecha de 1 metro de largo y en el otro extremo, se adaptó una polea de 18" de diámetro, lo cual se fijó sobre una base rotatoria, en la base se acopló el mecanismo de orientación, el cual siempre orientaba al rotor en posición perpendicular a la dirección del viento. El rotor eólico tenía un diámetro de 1.8 m., el área de barrido, perpendicular al viento era de 2.54 m². Sobre la base rotatoria, se acopló un alternador de automóvil de 65 amperes, el cual posteriormente se unió por medio de una banda a la polea ubicada en el extremo de la flecha del rotor.

La torre de soporte se construyó de 3m sobre el edificio del departamento de Riego y Drenaje, obteniendo así una altura promedio de 10 m sobre el nivel del suelo. Posteriormente se conectaron dos baterías estacionarias en paralelo al alterador con los medidores de corriente y voltaje. Y de esta manera queda terminada la obra; el generador instalado y listo para empezar la evaluación del diseño.



Fig. III.I Aerogenerador de diseño a evaluar.

METODOLOGIA.

Las pruebas del aerogenerador se realizaron en el periodo de 9:00 a 18:00 hrs., del día, ya que en este horario, se registraba la mayor intensidad del viento, contando con todos los instrumentos de medición necesarios, para la toma de datos; los datos a tomar fueron: amperes de corriente directa vs. Revoluciones por minuto (RPM)

En los ensayos de prueba del aerogenerador se realizó lo siguiente.

Se estuvieron midiendo las RPM con el tacómetro, y los amperes de corriente generados, en cuanto a las lecturas de voltaje, estas no se tomaron en cuenta, ya que el voltaje a la salida del alternador estaba regulado, de tal manera que no sobrepasara los 14 volts. Se tenían dos baterías estacionarias, con una capacidad individual de 1200 Amperes/Hora, las cuales al inicio de la prueba estaban aproximadamente a su capacidad de carga, casi totalmente cargadas. Las lecturas de corriente y RPM se tomaban de 3 a 8 lecturas por hr., dependiendo de la intensidad de la velocidad del viento durante el día. La velocidad del viento se determinó a través de la escala Beaufort, en el rango de 12 a 50 Km. /hora. Aproximadamente.

Procesamiento de datos.

La información obtenida se registró en una base de datos, para graficar velocidad del viento y RPM vs amperaje, ya que el voltaje era constante, en promedio se mantenía en los 14 volts, la base de datos obtenida, se organizó para obtener la curva de corriente eléctrica en función de la velocidad del viento y de las RPM del alternador. Como se verá a continuación en los resultados obtenidos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En el siguiente cuadro se encuentra registrada la base de datos tomada durante el funcionamiento del aerogenerador. Conectado en paralelo al banco de baterías. En la tabla del registro de datos solo se tomó en cuenta los puntos que representan la curva que aparece en la figura. IV.1

Rotacion RPM	Corriente Amperes
500	5
800	5.2
910	5.3
1020	5.4
1060	5
1030	4.8
980	4.2
910	3.8
860	3.2
750	2.8

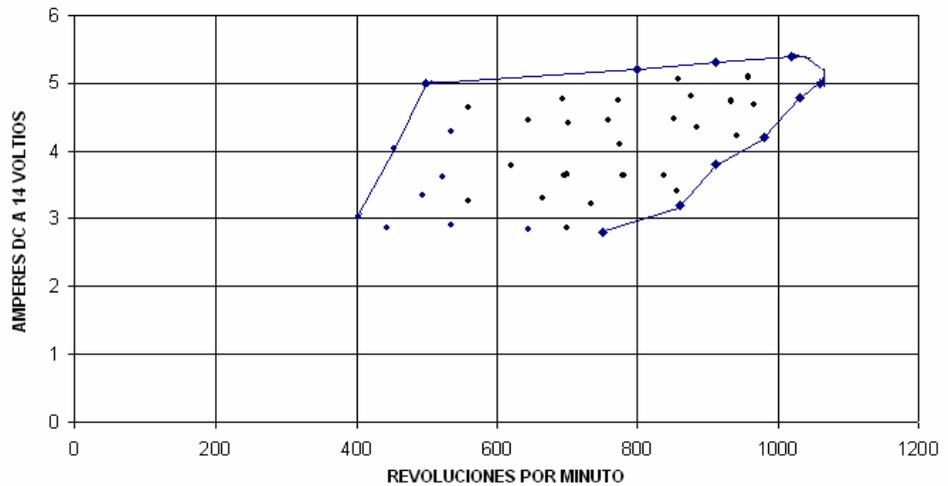


Fig. IV.1 curva de comportamiento del aerogenerador.

RELACION: AMPERES DC A 14 VOLTIOS VS RPM.

Como puede observarse en la figura IV.1, la curva de comportamiento del aerogenerador, es muy diferente a la curva de funcionamiento de cualquier Aerogenerador convencional, e incluso a la curva de funcionamiento de una bomba hidráulica. En primer término, este comportamiento se debe a que el alternador de los automóviles tiene un embobinado fijo y un campo electromagnético rotatorio conectado en paralelo a la fuente de carga y alimentación.

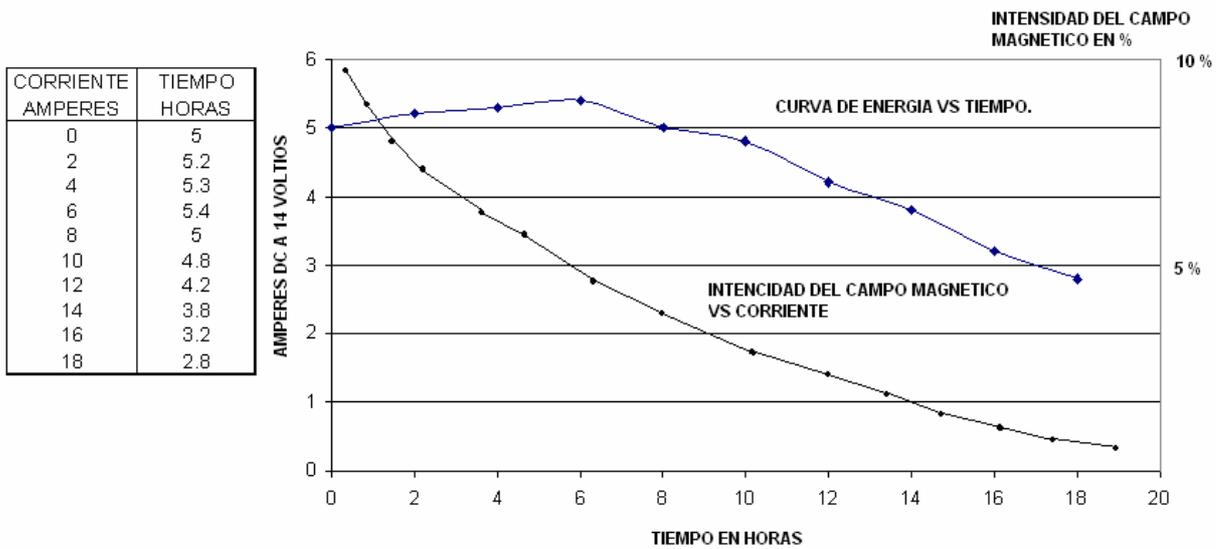


Fig. IV.II Curvas obtenidas de la corriente generada a través del tiempo con relación a la intensidad del campo magnético existente.

Cabe aclarar que la intensidad del campo magnético, en la figura IV.II se obtuvo a través de una relación de porcentaje, la capacidad máxima del alternador es de 65 amperes, entonces los 6 amperes obtenidos equivalen a un 9 % de capacidad; por lo tanto se considera que la intensidad del campo magnético del alternador solo alcanzó un 9% de su máxima capacidad aproximadamente.

En el alternador automotor, la corriente generada es la corriente que se utiliza en ese momento, por tal motivo, como podemos observar en los resultados obtenidos, en la figura IV.I y IV.II, podemos observar que la velocidad de corte es a las 400 RPM generando aproximadamente 3 amperes y a las 500 RPM alcanza su potencia nominal para la demanda energética, posteriormente vemos que la curva se revierte con una tendencia a cero, esto es porque la demanda energética disminuye, la excitación de los campos electromagnéticos del alternador disminuye y en consecuencia disminuye la generación de energía. El alternador viene equipado con un regulador de carga, por lo cual solamente genera la corriente que se necesita en un tiempo determinado, de lo contrario, si no tuviera integrado el sistema de control de energía, se sobrecargaría de energía el sistema y esto ocasionaría cortos circuitos al sistema eléctrico y en consecuencia se quemarían otros componentes del sistema eléctrico del automóvil. El controlador de carga del alternado permite que solamente se genere la cantidad de

energía necesaria, dentro de un rango de RPM variable, en los automóviles este rango desde las 6000 p.m. a las 16000, rpm, esto quiere decir que si en un momento dado en el sistema eléctrico del automóvil se requiere de 20 amperes, el alternador tiene la capacidad de generar esta cantidad de energía en un rango de 10,000 rpm, esto se da porque el controlador de carga controla el flujo de energía que se requiere en el campo electromagnético, la cantidad de energía suministrada al sistema electromagnético del alternador es inversamente proporcional a las rpm de rotación, cuando se requiere satisfacer una determinada cantidad de energía en un tiempo determinado, a menor rpm el campo electromagnético será mayor, ya que se requerirá de un campo magnético poderoso, y cuando se tenga el mayor número de rpm en el alternador la cantidad de corriente para excitar el campo electromagnético será menor; esta es la característica que define a todos los alternadores de automóvil, este sistema de control de carga los hace muy eficientes y esto permite siempre mantener en buen estado el sistema eléctrico de los autos y evita cortos circuitos y daños al sistema.

V. CONCLUSIONES.

Finalmente con los resultados obtenidos a través de los parámetros de observación (rpm vs. Amperes) y con la observación hecha durante el trabajo de campo de esta investigación se tienen las siguientes conclusiones:

Los alternadores automotores, están diseñados para funcionar dentro de un rango muy amplio de velocidades, Para aprovechar al máximo la potencia del viento con un alternador, se requiere de un banco de baterías para almacenar la energía que se ha de utilizar posteriormente. Ya que al conectar una carga directamente al alternador en el momento en que se detenga el viento, continuara demandando energía al banco de baterías, además de que se haría muy pesado el alternador para su movimiento, como se menciona anteriormente, al aumentar la demanda energética, el campo magnético se intensifica y para satisfacer la demanda energética se requiere de fuerza y velocidad de rotación, directamente proporcional a la demanda energética.

En los sistemas eolieléctricos se encuentra el uso de los alternadores automotores, en la mayoría de los casos, en la recarga de bancos de baterías, ya que la velocidad del viento no es siempre constante, además de que las baterías requieren de carga lenta para un uso mas eficiente.

VI. RECOMENDACIONES

- Continuar con la investigación, y primeramente cambiar el rotor electromagnético del alternador, sustituirlo por imanes permanentes.
- Diseñar tres rotores eólicos de tres y dos alabes cada uno de diferente diámetro y probar a las mismas velocidades del viento.
- Diseñar un sistema de trasmisión para aumentar las rpm del rotor, Diseñar un aerogenerador que funcione a las mínimas velocidades del viento, recomendado por los expertos. 3.5 m/s (www.windpower.org)
- Diseñar un aerogenerador que además de ser eficiente, sea económico en su construcción
- Crear una microempresa donde se pueda fabricar aerogeneradores de pequeña o mediana capacidad, que se puedan producir en escala y salir al mercado.

BIBLIOGRAFÍA

Lister Eugene C. (1977). Máquina y circuitos eléctricos. Introducción a la electricidad practica. Editoria Mc Graw-Hill. México D.F.

DUFFIE John A. Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons, (1976).

Stollberg Robert y Hill Faith Fitch, (1981). Física. Fundamentos y Fronteras. Segunda Edición. Editorial Publicaciones Cultural, S.A. México, D.F. (1992)

HUNT Daniel V. Diccionario de energía. Publicaciones Marcombo, (1976).

NORMAN C. HARRIS Emeritus prefessor of Higher Education the University of Michigan (1998).

Robert and Louis., Fundamentos de electrónica, 4ª edición, editorial Prentice – Hall Hispanoamericana, S.A. 1997.

Apuntes. Curso introductorio de FIRCO “Aprovechamiento de las energías renovables” (2005)

WTA Y M.AEI. Bombeo de agua con energía eólica. (2002)

Alonso y Rodríguez. Alternativas energéticas, 1ª edición, editorial Tipografía Básica 1985.

John Deere. Fundamentos de técnica aplicada, manual de sistemas eléctricos. 1972

www.conae.gob.mx

<http://members.1stconnect.com/anozira/SiteTops/energy/Alternator/alternator.htm>

<http://otherpower.com>

www.anes.org

<http://www.fide.org.mx>

<http://www.iie.org.mx/Welcome.php>

<http://www.cre.gob.mx>

<http://www.firco.gob.mx>

www.gamesa.es

www.wuondermagnet.com

www.windpower.org

www.meteored.com