



23
21
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

CAMPUS ARAGÓN

GENERACION EOLICA, UNA ALTERNATIVA

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

HERRERA CONTRERAS JOSE MANUEL

ASESOR:

ING. JUAN A. VILLANUEVA ORTEGA

1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

213266



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A MIS PADRES:

Este trabajo lo dedico a mis padres, que con todo su esfuerzo hicieron realidad mi sueño. En especial a mi madre que ya no se encuentra conmigo para compartir esta felicidad tan esperada por todos. Sin embargo, se que desde donde ella esté disfrutará al igual que yo el triunfo de mi meta.

A MI ESPOSA:

Quien con cariño y comprensión me ha brindado todo su apoyo.

Gracias...

Te Quiero.

A MI HIJO:

Que con su llegada ha complementado la felicidad de mi vida.

A MIS HERMANOS:

INDICE

Introducción	
CAPITULO I FUENTES DE GENERACION DE ENERGIA ELÉCTRICA	1
1.1 Centrales hidroeléctricas	2
1.2 Centrales termoeléctricas convencionales	4
1.3 Centrales turbogás	5
1.4 Centrales de ciclo combinado	6
1.5 Centrales diesel	7
1.6 Centrales carboeléctricas	8
1.7 Centrales nucleoeeléctricas	9
1.8 Centrales geotermoeléctricas	11
1.9 Fuentes de Energía no Convencionales	12
1.9.1 La biomasa	12
1.9.2 Maremotriz	13
1.9.3 Energía solar	14
1.9.4 Energía eólica	15
CAPITULO II GENERACION EOLICA	17
2.1 Energía eólica	18
2.2 El viento, un recurso energético	19
2.3 Selección del emplazamiento	20
2.4 Mapas eólicos	21
2.5 Distribución de velocidades	21
2.6 Perfil de velocidades	23
2.7 Valores típicos de coeficientes	24
2.8 Rotores y palas	24
2.9 Principio de aerodinámica	26
2.10 Aerodinámica de las turbinas de eje horizontal	26
2.11 Aerodinámica de las turbinas lentas de eje vertical	27
2.12 Parámetros característicos de los rotores	27
2.13 Rendimiento aerodinámico en turbinas rápidas de eje horizontal	30
2.14 Rendimiento aerodinámico en turbinas de eje vertical tipo Darrieus	30
2.15 Rendimiento aerodinámico en turbinas de baja velocidad	30
2.16 Sistemas mecánicos	36
2.17 Sistemas de transmisión	43
2.18 Sistemas de orientación	43
CAPITULO III EVALUACION DEL ENERGETICO EN "LA VENTOSA", OAX	46
3.1 Economía de grandes aerogeneradores	47
3.2 Posibilidades de aprovechar esta tecnología en México	51
3.3 Descripción de la zona de vientos	52
3.3.1 Delimitación de la zona	52
3.3.2 Topografía	53
3.3.3 Datos meteorológicos de la zona	53

3.3.4	Clima	53
3.3.5	Temperatura	54
3.3.6	Presión atmosférica	54
3.4	Escenario de generación eléctrica con energía eólica	54
3.5	Descripción de la red eléctrica de la zona	55
3.6	Descripción de escenarios	55
3.6.1	Baja capacidad	55
3.6.2	Mediana capacidad	56
3.6.3	Alta capacidad	56
3.7	Localización de sitios específicos para la instalación de estaciones anemométricas	57
3.7.1	Análisis de mapas topográficos y climatológicos	57
3.7.2	Ubicación tentativa de la estación anemométrica	57
3.7.3	Resumen y coordenadas de cada uno de los sitios específicos de las instalaciones de la estación anemométrica	59
CAPITULO IV AEROGENERADORES		61
4.1	Las palas del aeromotor	62
4.2	Sistemas de protección y regulación	66
4.3	Elementos que permiten la utilización de la energía eólica	67
4.3.1	El generador eléctrico y el multiplicador	67
4.3.2	Generador de corriente continua	67
4.3.3	Generador síncrono de corriente alterna	68
4.3.4	Ventajas e inconvenientes	68
4.3.5	El multiplicador	69
4.4	Recuperación de la energía en el soporte fijo	69
4.4.1	Máquinas sin multiplicador	69
4.4.2	Máquinas con multiplicador	70
4.5	Protección contra los rayos (para los aerogeneradores)	70
4.6	Soporte para aerogeneradores	71
4.6.1	Soportes autoportantes	71
4.6.2	Soportes atirantados	72
4.7	Dispositivo de almacenamiento	72
4.7.1	Sistemas de almacenamiento distintos a la batería de acumuladores	72
4.8	Acumuladores de plomo y acumuladores alcalinos	73
4.8.1	Acumuladores de plomo	73
4.8.2	Acumuladores alcalinos	75
CAPITULO V ASPECTOS ECONOMICOS Y RENTABILIDAD DE LA ENERGIA EOLICA		76
5.1	Consideraciones generales	77
5.2	Evolución de los costes de instalaciones en plantas eólicas de gran potencia	78
5.3	El coste de la energía eólica	79
5.4	Rentabilidad de la pequeña aeroturbina	80
Conclusiones		82
Bibliografía		83

OBJETIVO:

Dar a conocer el funcionamiento, las ventajas y desventajas de la generación eólica.

JUSTIFICACION:

Es parte del ingeniero eléctrico tomar en cuenta los tipos de generación de energía eléctrica y balancear los pros y contras de cada uno de ellos. Por tal motivo, presento este trabajo para no perder de vista que es una alternativa de generación.

INTRODUCCION.

La humanidad poco reflexiona sobre aquellos elementos que la naturaleza nos ha brindado y que por ende hemos recibido sin realizar esfuerzo alguno: la luz del sol, el agua de los ríos, el aire, etc.

La utilización de la energía del viento mediante la investigación de la vela dio un fuerte impulso a la navegación, al comercio y al intercambio de ideas y conocimientos ante los pueblos de la antigüedad. El empleo de energía cinética de las corrientes de agua, gracias a la energía hidráulica, liberó al hombre de cantidad de tareas que requerían de gran esfuerzo físico.

A partir de la investigación detallada de los fenómenos eléctricos que se inició a principios del siglo XVIII, se dieron grandes descubrimientos científicos y al mismo tiempo, aplicaciones tecnológicas que hicieron posible la producción de energía eléctrica a partir de otras formas de energía.

Actualmente la electricidad proporciona a la humanidad energía de manera eficiente e instantánea para múltiples usos: alumbrado, calefacción, fuerza para la industria, transporte, etc.

El viento es una consecuencia de la radiación solar. Las diferencias de insolación entre distintos puntos del planeta generan diferentes áreas térmicas y desequilibrios de temperatura se traducen en variaciones de presión. El aire, como cualquier gas, se mueve desde las zonas de alta presión, a las de baja presión.

A través de los siglos el hombre ha construido diversas máquinas para aprovechar la energía del viento; en la actualidad se suman a la lista de estos, los modernos aerogeneradores de electricidad, que son versiones de alta tecnología de los tradicionales "Molinos de viento".

CAPITULO I

FUENTES DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA

1.1.-CENTRALES HIDROELECTRICAS.

La energía hidráulica es la energía potencial de las masas de agua de los ríos y lagos. En los cursos naturales de agua la energía hidráulica se disipa en remolinos, erosión de las riveras y cauces, choques arranques del material de las rocas sueltas y en los ruidos del torrente.

Para extraer esta energía y convertirla en energía mecánica utilizable, es preciso eliminar las pérdidas naturales creando un cauce artificial donde el agua fluya con pérdidas mínimas y, finalmente, convertir la energía potencial disponible en energía mecánica por medio de máquinas apropiadas como turbinas o ruedas hidráulicas. Debido a esto, los aprovechamientos hidroeléctricos se realizan en sitios específicos que reúnen las características técnicas, económicas, ambientales y sociales para la construcción y operación de la central.

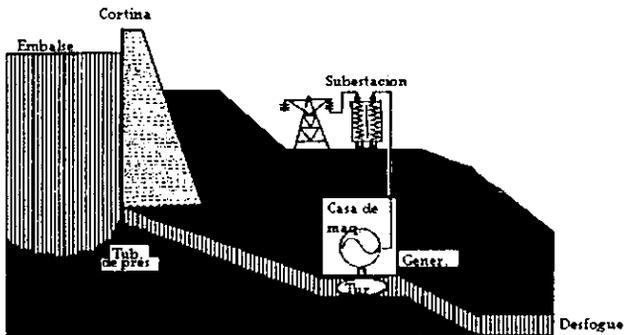
A pesar de la gran diversidad de esquemas hidráulicos empleados en los aprovechamientos hidroeléctricos, cada caso real puede ser una variante o combinación de dos tipos:

- A) Aprovechamiento por derivación.
- B) Aprovechamiento por retención.

En el aprovechamiento por derivación, las aguas se desvían en un punto determinado del río y se conducen por medio de un canal o túnel con una pequeña pendiente para que el agua pueda circular; al final del canal se instala una cámara de presión que sirve de arranque a la tubería forzada y ésta conducción lleva el agua siguiendo el flanco del valle hasta las turbinas hidráulicas situadas en el extremo inferior donde se restituye el cauce al río.

El aprovechamiento por retención, el agua se almacena en una presa creando un desnivel o carga hidráulica desde la superficie del agua hasta la base de la cortina. El agua se conduce a través de la tubería de presión hasta las turbinas localizadas a pie de presa. En la turbina, la energía cinética se transfiere al generador donde se transforma en energía eléctrica. A lo largo de un río se suelen instalar varias centrales en cascada, con el fin de aprovechar el salto total disponible; cada una de ellas recibe directamente el agua turbinada por la central superior así como eventualmente las aportaciones de los afluentes intermedios.

Fig. 1.1 *CENTRAL HIDROELÉCTRICA*

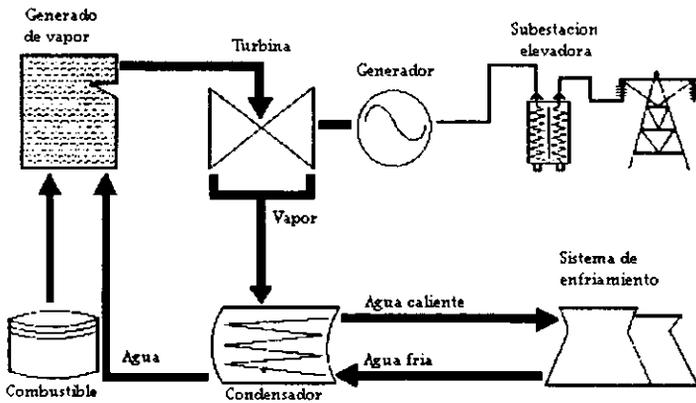


1.2.- CENTRALES TERMoeLECTRICAS CONVENCIONALES.

Este tipo de central emplea, como fuente energética primaria, combustóleo o gas natural. En la actualidad, el sector eléctrico utiliza combustóleo en aquellas unidades alejadas de los centros urbanos y gas en las plantas cercanas a ciudades. La caldera o generador de vapor transforma el poder calórico del combustible en energía térmica, la cual es aprovechada para llevar el agua a la fase de vapor. Este vapor, ya sobrecalentado, se conduce a la turbina, donde su energía cinética se convierte en mecánica, que se transmite al generador para producir energía eléctrica.

Estas centrales requieren de cantidades importantes de agua. El sistema de enfriamiento con torres húmedas mecánicas consume agua, debido, entre otras causas a la evaporación provocada por las condiciones climatológicas y las purgas del sistema. El consumo se estima, en forma genérica, en un litro por segundo MW de capacidad. En el sistema de torre seca, de consumo disminuye sensiblemente, pero el costo de inversión aumenta.

FIG. 1.2 *CENTRAL DE VAPOR CONVENCIONAL*



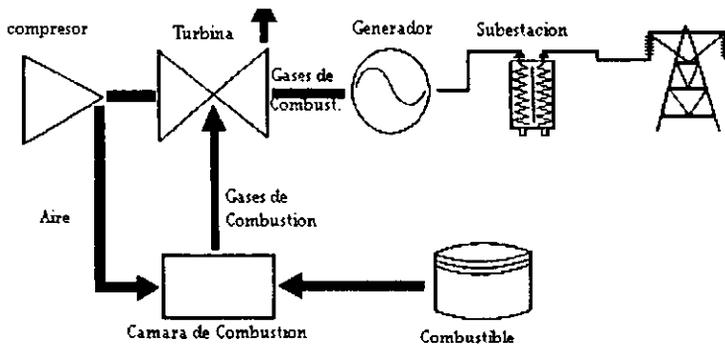
1.3 - CENTRALES TURBOGAS.

La generación de energía eléctrica en las unidades turbogás se logra aprovechando directamente, en los alabes de la turbina, la energía cinética que resulta de la expansión del aire y gases de combustión, comprimidos y a altas temperaturas. La turbina está acoplada al rotor del generador dando lugar a la producción de energía eléctrica. En la figura 3 se muestra esquemáticamente éste ciclo; como se observa, los gases de la combustión, después de trabajar en la turbina, se descarga, directamente a la atmósfera.

Estas unidades emplean como combustible gas natural o diesel, y entre los modelos avanzados, se puede quemar combustóleo o petróleo crudo. En una máquina preparada para ello, el cambio de combustible se puede realizar en forma automática en cualquier momento; este cambio tiene efectos sobre la potencia y la eficiencia.

Desde el punto de vista de la operación, el breve tiempo de arranque y la versatilidad para seguir las variaciones de la demanda, hacen las turbinas de gas ventajosas para satisfacer cargas de horas pico y proporcionar capacidad de respaldo al sistema eléctrico.

FIG. 1.3 *CENTRAL TURBOGAS*

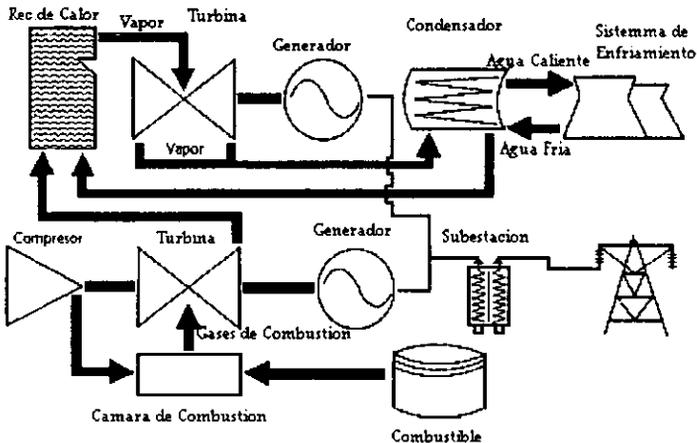


1.4.- CENTRALES DE CICLO COMBINADO.

Las centrales de ciclo combinado están integradas por dos tipos diferentes de unidades generadoras: turbogás y vapor.

Una vez terminado el ciclo de generación en las unidades turbogás, los gases desechados poseen un importante contenido energético, el cual se manifiesta en su alta temperatura. En las centrales del ciclo combinado, esta energía se utiliza para calentar agua llevándola a la fase de vapor, que se aprovecha para generar energía eléctrica adicional, siguiendo un proceso semejante al descrito para las plantas térmicas convencionales (véase la fig. 4).

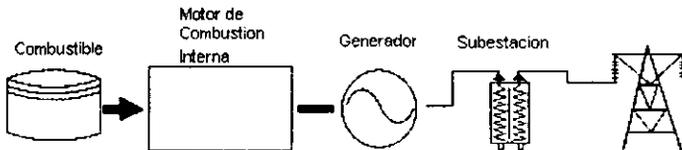
FIG. 1.4 *CENTRAL DE CICLO COMBINADO*



1.5.-CENTRALES DIESEL

La tecnología sigue el principio de los motores de combustión interna: aprovecha la expansión de los gases de combustión para obtener la energía mecánica, que es transformada en energía eléctrica en el generador. Actualmente, este tipo de motor consume una mezcla de combustóleo y diesel. De acuerdo con la información de los fabricantes los equipos hoy en día y dependiendo de la calidad del combustóleo, las unidades pueden consumir este combustible puro o mezclado con diesel.

FIG. 1.5 *CENTRAL DIESEL*



1.6.- CENTRALES CARBOELÉCTRICAS

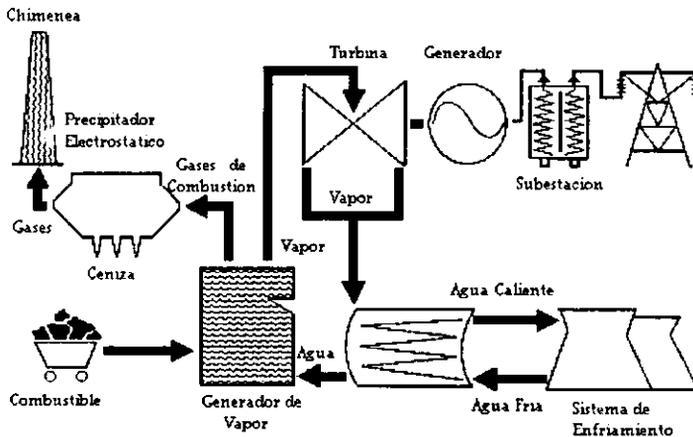
Las centrales carboeléctricas prácticamente no difieren en cuanto a su concepción básica de las termoeléctricas convencionales el único cambio importante es el uso del carbón como combustible y que los residuos de la combustión requieren de un manejo más complejo que en el caso de las termoeléctricas convencionales, que utilizan combustibles líquidos o gaseosos. En las centrales que utilizan carbón con alto contenido de azufre es necesario instalar equipos de control de emisiones (de sulfuradores).

La figura 1.6 muestra una central carboeléctrica que no incluye equipos desulfuradores. Se definen tres centrales básicas: carboeléctrica sin desulfurador y sin quemadores duales, utilizando carbon como el de Río escondido con alto contenido de cenizas.

Carboeléctrica sin desulfurador y con quemadores duales para carbón y combustóleo. El combustible primario es carbón con un contenido de azufre de menos de 1 por ciento.

Carboeléctrica con desulfurador y quemadores duales para carbón y combustóleo. El combustible primario es carbón con un contenido de azufre de menos de 2.6 por ciento.

FIG. 1.6 *CENTRAL CARBOELÉCTRICA*



1.7.-CENTRALES NUCLEOELÉCTRICAS

Es una central nuclear, como en la central térmica convencional, la energía calorífica liberada por el combustible se transforma en energía mecánica y después en energía eléctrica. El calor producido hace que el agua se evapore y el vapor formado es enviado a la turbina que hace funcionar a un generador para obtener finalmente la energía eléctrica. Sin embargo en una central térmica clásica, el calor proviene de la combustión con el oxígeno del aire de un combustible fósil como el carbón, combustóleo, gas, etc., dentro de la caldera, mientras que en una central nuclear, el calor proviene de la fisión de los núcleos de uranio dentro de un reactor nuclear. El calor producido dentro del reactor es producido por un flujo que pasa alrededor del combustible y que se llama "refrigerante" o fluido "portador de calor".

El vapor que alimenta la turbina puede ser producido directamente dentro del reactor o mediante el uso de un intercambiador, pero en todos casos ese vapor, después de entrar a la turbina, pasa por un condensador donde se enfría al entrar en contacto con los tubos dentro de los cuáles pasa el agua de enfriamiento que se toma del mar, de un río o bien de los acuíferos subterráneos. El circuito agua-vapor es un circuito cerrado completamente independiente del circuito de enfriamiento del mar, río o pozos.

Los componentes principales de un reactor son:

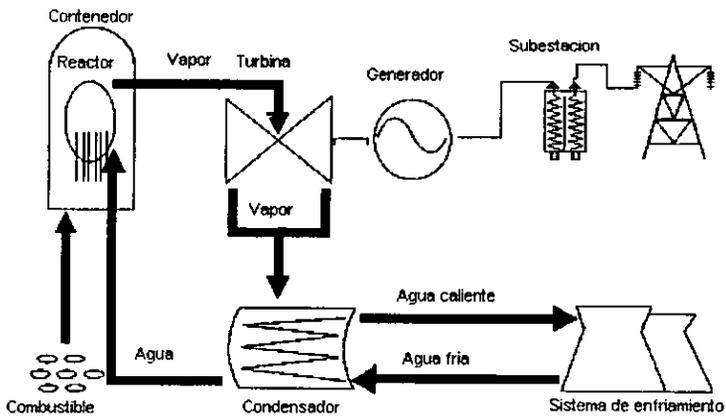
- 1.- Un núcleo compuesto básicamente por el combustible el moderador y el refrigerante.
- 2.- Un sistema de control y seguridad para regular el ritmo de la liberación de energía.
- 3.- Un contenedor hermético, dentro del cual se encuentra el material nuclear, que constituye un blindaje biológico para los trabajadores.
- 4.- Un sistema de extracción de energía o sistema de enfriamiento para transportar el calor producido.

El núcleo del reactor es la región donde tiene lugar la reacción nuclear exotérmica y es comparable al hogar de una caldera, ya que allí se produce el calor. Los principales elementos que constituyen el núcleo son el combustible, el moderador y el refrigerante. Las variantes que se presentan en estos tres elementos dan lugar a distintos tipos de reactores.

En las centrales nucleares el combustible utilizado con más frecuencia es el uranio. Este puede ser utilizado ya sea en su forma natural que contiene 0.7% de uranio 235 y 99.3% de uranio 238, o bien, en una forma creada artificialmente que es el uranio enriquecido, en el cual se aumenta la proporción del isótopo fisionable o sea el uranio 235.

Esta proporción es de aproximadamente 3% en los reactores de agua ligera, que son los que hoy día están operando en mayor número.

FIG. 1.7 CENTRAL NUCLEOELÉCTRICA

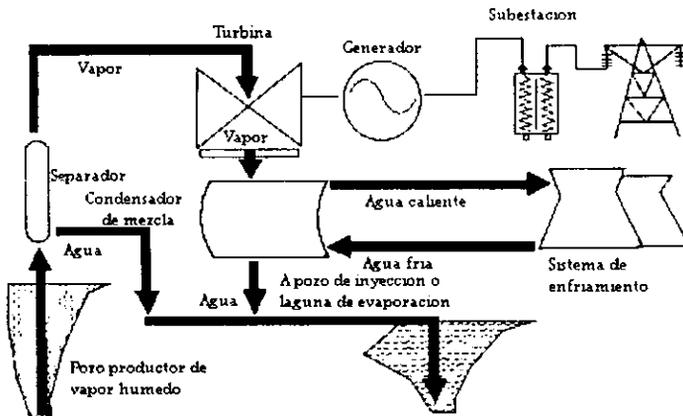


1.8.-CENTRALES GEOTERMOELÉCTRICAS

La energía geotérmica como su nombre lo indica, es energía calorífica proveniente del núcleo de la tierra, la cual se desplaza hacia arriba en el magma que fluye a través de las fisuras existentes en las rocas sólidas y semisólidas del interior de la tierra, alcanzando niveles cercanos a la superficie, donde, si se encuentran las condiciones geológicas favorables para su acumulación, se mantiene y se transmite a los mantos acuíferos del subsuelo. Como se muestra en la figura 1.8, la mezcla de agua-vapor que se obtiene del pozo se envía a un separador; el vapor ya seco se dirige a la turbina donde se transforma su energía cinética en mecánica y esta, a su vez, se transforma en electricidad en el generador.

Existen unidades de 5 MW en las que el vapor, una vez que ha trabajado en la turbina, se libera directamente a la atmósfera. En las unidades de 20, 37.5 y 110 MW, el vapor se envía a un sistema de condensación; el agua condensada, junto con la proveniente del separador, se reinyecta al subsuelo o bien se descarga en una laguna de evaporación.

FIG. 1.8 CENTRAL GEOTERMOELÉCTRICA



1.9 FUENTES DE ENERGIA NO CONVENCIONALES.

-BIOMASA O BIOGAS

-MAREMOTRIZ

-ENERGIA SOLAR.

-ENERGIA EOLICA

1.9.1 LA BIOMASA O BIOGAS.

El biogás es una mezcla de gases cuyos principales componentes son el metano y el bióxido de carbono. Se produce como resultado de la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire, por la acción de microorganismos. Cuando esta mezcla se produce en forma natural se llama "gas de los pantanos".

La composición de biogás depende del tipo de desecho utilizado y de las condiciones en que se proceda. El promedio, su composición es la siguiente:

Metano	(CH ₄)	54-70%
Bióxido de carbono	(CO ₂)	27-45%
Hidrogeno	(H ₂)	110%
Nitrógeno	(N ₂)	0.53%
Acido sulfhidrico	(H ₂ S)	0.1%

El biogás con su alto contenido de metano, es una fuente de energía que puede usarse para cocinar, iluminar, operar máquinas agrícolas, bombear agua, generar calor o electricidad.

Una planta de biogás consiste básicamente de un digestor donde ocurre la fermentación y un contenedor hermético que tiene como función almacenar el biogás producido; las dos partes pueden estar juntas o separadas y el tanque de almacenamiento puede ser operado por gravedad o por bombeo.

El proceso de desecho en el digestor permite generar biogás y como residuo del proceso se tiene un excelente abono orgánico que lleva el nombre de bioabono.

1.9.2 MAREMOTRIZ.

Puede funcionar con dos clases de ciclos: el ciclo abierto y el ciclo cerrado.

CICLO ABIERTO.

El agua del mar caliente (25 a 30 °C) se distribuye por un evaporador en el que la presión es muy pequeña.

El vapor así producido alimenta una turbina antes de mezclarse con el agua fría del condensador, en el que la presión es toda vía más pequeña que en el vapor. La pequeñísima diferencia de presión entre los extremos de la turbina (entre 1 y 2 / 100 de atmósfera) implica que para tener alguna potencia sean necesario grandes caudales de vapor, y por lo tanto, que la turbina sea de gran diámetro (8m es el proyecto de Abidján de 5 MW).

El ciclo abierto presenta la ventaja de poder producir grandes cantidades de agua dulce si se reemplaza los condensadores de mezcla (en los que el vapor de agua que sale de la turbina se mezcla con el agua fría del fondo del mar) por condensadores de superficie, en los que el vapor de agua (dulce) se condensa en la pared fría del intercambiador. El caudal de agua dulce puede alcanzar 100m³/h por MW producido.

CICLO CERRADO.

El ciclo cerrado recurre a un fluido intermedio muy volátil como el amoníaco. El agua marina caliente cede mucho calor al amoníaco, a través de un intercambiador, y este se vaporiza. El vapor así producido, se envía a la turbina, en la que realiza su trabajo motriz. Posteriormente, el vapor se transforma en líquido al entrar en contacto con la pared fría del condensador que se alimenta con agua marina fría. Una bomba de circulación garantiza la recuperación del fluido condensador y su transformación al evaporado para iniciar nuevo ciclo.

El ciclo cerrado se caracteriza, por lo tanto, por sus turbinas pequeñas, pero presenta gran inconveniente de necesitar intercambiadores de superficies muy grandes, debido a las pequeñas variaciones de temperatura en los mismos.

1.9.3 ENERGIA SOLAR.

La energía solar aprovecha la radiación solar que llega a la tierra. Fuera de la atmósfera se reciben del orden de los 1.300 wátios/m, y aunque disminuye sensiblemente al atravesarla, la cantidad de radiación que alcanza para justificar su aprovechamiento.

La radiación solar se transforma en energía térmica, con rendimiento del 50 por 100, utilizando colectores planos o concentrados, o bien en electricidad mediante sistemas fotovoltaicos con rendimiento del 15 por 100.

Los paneles fotovoltaicos tienen la gran ventaja de producir electricidad, pero sus precios son toda vía demasiado elevados.

Estas centrales generan una corriente continua al excitar los electrones de ciertos semiconductores como el silicio, el sulfuro de cadmio, el fosforo de indio, etc. La generación se realiza por medio de células fotovoltaicas, cuya corriente típica es del orden de 0.2 amperes a 0.5 volts. Conectando células en serie o en paralelo se obtienen tensiones o corrientes mayores.

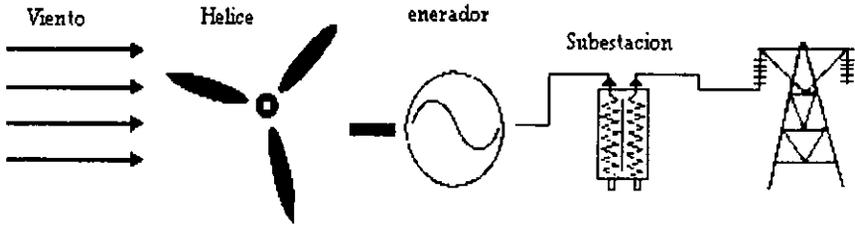
Los elevados costos de las células fotovoltaicas y de las baterías para almacenar la electricidad, reducen por el momento para las aplicaciones de estas centrales a cubrir demanda en zonas muy alejadas de las líneas de transporte eléctrico.

Mediante estas centrales se proporcionan servicios como bombeo de agua, iluminación doméstica en comunidades rurales, telefonía rural, repetidoras de microondas, señalamiento terrestre y marítimo. De acuerdo con el balance nacional de energía, la capacidad instalada en 1992 es de 5.4 MW.

1.9.4.- CENTRAL EÓLICA

Este tipo de central convierte la energía del viento en energía eléctrica mediante una aeroturbina que hace girar un generador (figura 1.9). La energía eólica está basada en aprovechar un flujo dinámico de duración cambiante y con desplazamiento horizontal. La cantidad de energía obtenida es proporcional al cubo de la velocidad del viento, lo que muestra la importancia de este factor. El procedimiento no es viable más que para gamas de vientos comprendidos entre 5 y 20 metros por segundo. Con velocidades inferiores a 5 metros por segundo el aparato no funciona y por encima del límite superior debe pararse para evitar daños a los equipos.

FIG. 1.9 *CENTRAL EÓLICA*



CAPITULO II

GENERACION EOLICA

INTRODUCCIÓN.

En 1973 y como consecuencia del embargo del petróleo ocurrida a raíz del conflicto árabe-israelí, se inicia otro periodo en el campo del aprovechamiento eólico como fuente de energía, aunque en esta ocasión compartiendo el protagonismo con la solar, como recursos renovables y no contaminantes.

Sin embargo, en este periodo las circunstancias son radicalmente distintas que en los anteriores. En esta ocasión la crisis energética se mantiene mas por el fuerte incremento de los precios, que por la importancia del suministro. La nueva estructura de los precios energéticos han favorecido al desarrollo de grandes turbinas aerogeneradores, capaces de producir energía eléctrica a precios competitivos.

Dada la situación, la mayoría de los países occidentales que se han visto por la crisis del petróleo, y en especial los que ya tenían una cierta tradición en el aprovechamiento de recursos eólicos, han preparado nuevos programas de investigación y desarrollo, con el fin de potenciar al máximo estas fuentes de energía en un plazo no superior de dos décadas.

Dicho programa de desarrollo han centrado su interés en dos aspectos diferentes. El primero se ocupa de la evaluación de los recursos eólicos, obtención y tratamiento de datos meteorológicos elaboración de mapas eólicos, y localización de emplazamientos

El segundo se centra en el calculo, diseño y construcción de plantas de gran potencia

En cuanto al tipo de maquinaria a desarrollar, la experiencia acumulada a lo largo del siglo ha permitido concretar al campo de trabajo en dos modelos de interés turbinas de eje horizontal de dos a tres palas y turbinas de eje vertical.

2.1 ENERGIA EOLICA

La energía eólica aprovecha parte de la radiación solar que es absorbida por la atmósfera y transformada en energía cinética. Se estima que la energía contenida en los vientos es aproximadamente el 2 por ciento del total de la energía solar que alcanza la tierra, lo que supone $2.5 * 10$ ton/año (toneladas equivalentes de carbón al año). Aunque en la practica solo podría ser utilizada una parte muy pequeña de esa cantidad, la energía eólica reúne buenas características para un aprovechamiento rentable.

De todas las energías rentables, la solar y la eólica son las que se encuentra mejor distribuidas, lo que supone una importante ventaja para su aprovechamiento en gran escala. Desde el punto de vista económico, la producción en aerogeneradores eólicos es la clave para que los precios resulten competitivos con otras fuentes de energía.

La mayor dificultad de las aplicaciones de tipo solar y eólico radica en la irregularidad de su producción energética, que obliga a disponer de costosos sistemas de almacenamiento para adaptar su suministro a la exigencia de la demanda.

En el campo de la producción de la electricidad a gran escala, un grave inconveniente reside en los límites de potencias en plantas de este tipo, que resultan muy inferiores a las potencias instaladas en plantas convencionales, sin embargo, la ventaja de utilizar combustibles gratuitos puede compensar a lo largo plazo los mayores costos de la instalación. La fabricación de colectores y de máquinas aerogeneradoras lo requieren de sofisticadas técnicas y está al alcance de países no muy industrializado. Solo se necesita que se generalice su utilización para que la producción en masa convierta esta opción en una realidad practica y rentable.

Las montañas constituyen un importante obstáculo al desplazamiento del aire y su comportamiento ante ellas puede resultar muy complejo. Por regla general, se suele considerar que las montañas ejercen un efecto de frenado sobre una corriente de aire, reduciendo su velocidad de un 30 a un 50 por ciento de la que tendría en iguales condiciones moviéndose en un espacio abierto.

El efecto de frenado se ejerce también en zonas libres de obstáculos. Las fuerzas de rozamiento, que actúan en las capas de la atmósfera, que se encuentra en contacto con el suelo tiende a disminuir su velocidad, siendo sus efectos menores a medida que ganamos altura.

Así pues los parámetros que definen en el régimen de vientos en un punto determinado dependiente de:

- La situación geográfica
- Las características microclimáticas locales
- La estructura topográfica de la zona
- Las irregularidades del terreno
- La altura sobre el nivel del suelo

El contenido energético del viento depende de la densidad del aire y de su velocidad. Como en cualquier gas, la densidad varía con la temperatura y la presión, y esta, a su vez, con la altura sobre el nivel del mar.

2.2 EL VIENTO UN RECURSO ENERGÉTICO.

El viento es consecuencia de la radiación solar.

Las diferencias de insolación entre distintos puntos del planeta generan diferentes áreas térmicas y los desequilibrios de temperatura se traducen en variaciones de presión.

El aire como cualquier gas se mueve de las zonas de alta presión a las de baja presión.

Durante el día el agua de los océanos permanece relativamente más fría que la superficie terrestre. De la radiación solar que incide sobre la superficie del agua se emplea parte del calentamiento y parte en vaporización; pero debido a la gran capacidad del agua para absorber calor, la temperatura en las capas superficiales apenas varía y lo mismo ocurre con la temperatura del aire que se encuentra en contacto con ellas.

Sobre la tierra en cambio la radiación solar que recibe sobre el suelo se traduce en una elevación de la temperatura tanto de la corteza terrestre como del aire circulante. El aire caliente se dilata pierde presión y es reemplazado por el aire fresco que viene del mar.

Durante la noche el ciclo se invierte. La corteza terrestre se enfría mas rápidamente mientras que el agua del mar conserva mejor el calor acumulado a lo largo del día.

En las montañas ocurre un proceso parecido. Unas laderas reciben mas insolación que otras en función, de su orientación y pendiente. El calentamiento del suelo es desigual, y los desplazamientos del aire tienen a compensar las diferencias de presión.

La orografía del emplazamiento es muy importante para determinar la velocidad del aire en un punto localizado. El aire que se desplaza en la proximidad de la corteza terrestre debe sortear los innumerables obstáculos que se encuentran a su paso alterando en mayor o menor grado las líneas de corriente y sus velocidades correspondientes.

2.3 SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

A primera vista, dado que la velocidad del viento es el factor energético predominante, se puede suponer que los emplazamientos más adecuados para la instalación de máquinas eólicas son aquellos en los que sopla el viento con velocidades más elevadas. Sin embargo, si tenemos en cuenta las características operacionales de las aeroturbinas habrá que considerar no solo el valor medio de las velocidades del viento, sino también su distribución.

Toda máquina eólica requiere de una velocidad mínima de viento, por debajo del cual no genera suficiente impulso para arrancar. Una vez en funcionamiento se va acelerando en medida que aumenta la velocidad del viento. Hasta que este llega a una velocidad determinada en que se alcanza las condiciones de régimen de la aeroturbina.

Para esta velocidad de viento se diseña especialmente la máquina, de forma que se obtenga el máximo rendimiento. Esta velocidad de diseño suele tener aproximado al valor medio de la velocidad del viento en el emplazamiento elegido.

Cuando la velocidad del viento es superior a la de diseño el rendimiento aerodinámico disminuye, desperdiciando parte de la energía. En la mayoría de las modernas aeroturbinas, el

exceso de energía de energía en vientos con velocidades superiores a la de diseño se pierde en su totalidad por motivos de regulación y control.

Las maquinas eólicas se constituyen con limitación de velocidad de viento, por encima de la cual se desconectan por motivos de seguridad.

Así pues, para obtener un mejor aprovechamiento de las energías de los vientos hay que elegir cuidadosamente la velocidad de diseño de la aeroturbina, y buscar un emplazamiento en el que la velocidad del viento tenga un elevado valor medio y sople con regularidad.

Se hace necesario disponer de una información meteorológica detallada sobre la estructura y distribución de los vientos en función de su velocidad. Las mediciones estadísticas deben realizarse durante un periodo mínimo de tres años para poder obtener unos valores fiables, que una vez procesado permitan elaborar:

- Mapas eólicos
- Distribución de velocidades

2.4 MAPAS EOLICOS

Los mapas eólicos nos proporcionan una información global sobre el nivel medio de los vientos en una determinada área geográfica, situando las zonas más idóneas desde el punto de vista energético.

Estos mapas se elaboran uniendo puntos geográficos con iguales valores de velocidad de viento.

2.5 DISTRIBUCION DE VELOCIDADES

La función de distribución de velocidades nos proporciona el numero de horas al año en que la velocidad del viento es superior a un valor determinado. Con esta información y conociendo los parámetros de operación de una aeroturbina se puede evaluar la ganancia energética anual que puede generar.

La velocidad de diseño de la máquina será aquella a la que se obtengan una mayor ganancia energética, y conocida la velocidad que diseño se puede calcular la velocidad de régimen a la que ha de girar la turbina para que el rendimiento sea máximo.

2.6 PERFIL DE VELOCIDADES

El perfil de velocidades nos da la variación de velocidad del viento a medida que ganamos altura respecto al suelo. Las fuerzas de rozamiento y el efecto de frenado debido a las irregularidades del terreno son más intensos en las capas que se encuentran en contacto con el terreno, y la distribución de velocidades en función de la altura sigue una ley de tipo exponencial.

$$V_1/V_2 = (h_1/h_2)$$

Siendo:

V_1 = la velocidad del viento a una altura h_1 .

V_2 = la velocidad del viento a una altura h_2 .

El coeficiente es un parámetro que depende de la topografía del terreno y de las condiciones meteorológicas. Generalmente se calcula en base a mediciones y estimaciones estadísticas.

2.7 VALORES TIPICOS DE COEFICIENTES

Area descubierta.....	0, 14-0, 34
Area boscosa	0, 35-0, 6
Area edificada.....	0.6 -0, 8

Con la información que nos proporciona el perfil de velocidades podemos determinar la altura mas adecuada para instalar la turbina. Esta altura se obtiene como una solución de compromiso entre el incremento de costo por cada metro de torre adicional y el aumento de ganancia energética que representa.

En resumen, el viento es un recurso energético que tiene posibilidades. Su abundancia y distribución justifican su aprovechamiento. Sin embargo, para la utilización de la energía eólica llega a ser una realidad, debe demostrarse su rentabilidad, y la obtención de la máxima ganancia energética con el mínimo costo depende tanto de los recursos naturales del emplazamiento como la eficacia y características técnicas de la aeroturbina empleada.

2.8 ROTORES Y PALAS

El rotor es el elemento esencial de una máquina eólica, y su misión es transformar la energía cinética del viento en energía mecánica. Los rotores eólicos han evolucionado considerablemente, desde los rudimentarios sistemas de madera y tela que se utilizaban en la antigüedad, hasta las modernas alas aerodinámicas de acero y plástico, de las turbinas actuales.

Los problemas técnicos de los rotores y de las palas, que los componen, están estrechamente vinculados a su tamaño. Es evidente que cuanto mayor sean las potencias generadas por una misma máquina, menores son los costos de la energía que produce, y el interés por tener una energía lo más barata posible ha marcado la tendencia hacia turbinas de

gran potencia. Sin embargo, grandes potencias requieren rotores de gran tamaño, y con el tamaño se multiplican los problemas técnicos. En el pasado, la principal limitación de los grandes rotores venia impuesta por la dificultad de orientarlos en la dirección del viento. En la actualidad, la limitación es de tipo estructural; los elevados esfuerzos que se producen en los elementos resistentes en las palas crecen con la longitud, imponiendo serias limitaciones constructivas. Los mayores rotores que se han construido hasta el momento alcanzan diámetros de 150 m y se encuentran próximos al límite tecnológico.

Dentro de la tipología habitual de las turbinas eólicas se pueden establecer las siguientes clasificaciones:

En función de la potencia:

De pequeña potencia, hasta 50 KW.

De mediana potencia, desde 50 a 250 KW.

De gran potencia, superiores a 250 KW.

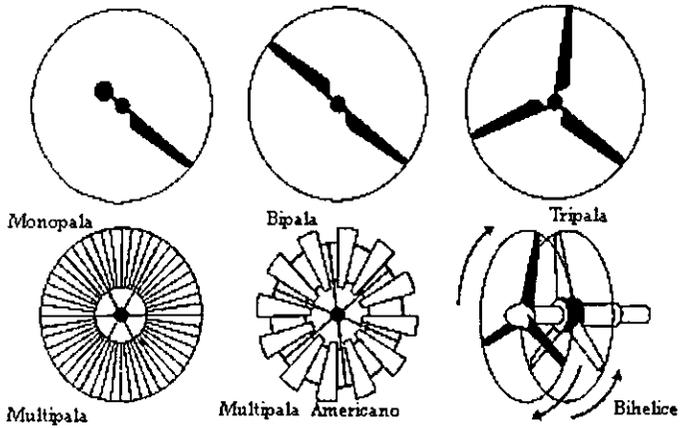
En función de la disposición del eje:

De eje horizontal: A este grupo pertenece la gran familia de las hélices, que son los rotores más extendidos, y los que presentan mejores cualidades aerodinámicas.

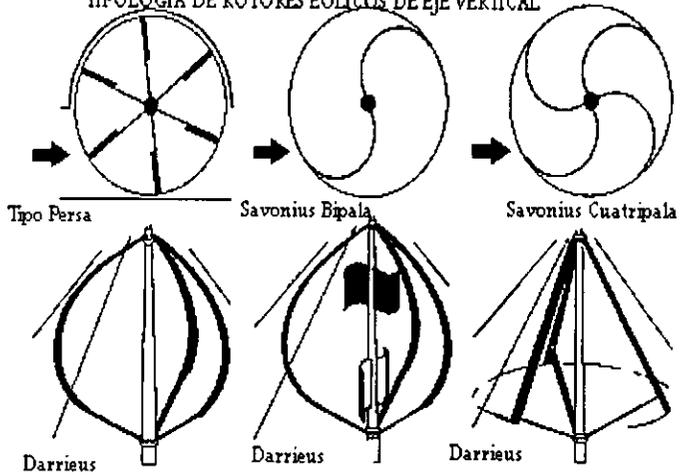
De eje vertical: Son más sencillos de diseño lo que les proporciona ciertas ventajas de tipo mecánico. Los molinos de vientos más antiguos eran de este tipo.

En general, existen rotores de alta eficiencia tanto en el grupo de los de eje horizontal como en los de eje vertical. En ambos casos, el rendimiento aerodinámico corresponde con la velocidad de funcionamiento. Los rotores rápidos, las hélices de bajo número de palas y los "Darricus", tienen rendimientos muy superiores a los lentos, los multipalas y los "Savonius".

TIPOLOGIA DE ROTORES EOLICOS DE EJE HORIZONTAL



TIPOLOGIA DE ROTORES EOLICOS DE EJE VERTICAL



2.9 PRINCIPIOS DE AERODINAMICA

En los molinos antiguos, la sección de las palas es del tipo placa plana, de características inferiores a los perfiles aerodinámicos que se utilizan en la actualidad. El diseño de una pala lleva consigo la elección del perfil mas adecuado, teniendo en cuenta sus características aerodinámicas y su aspecto constructivo.

Una vez elegida la forma del perfil, la velocidad de la corriente y el ángulo de ataque óptimo para un determinado segmento de ala, podremos, calcular las fuerzas de sustentación y de resistencia mediante los coeficientes característicos del perfil, e integrando a toda el ala, obtener las fuerzas totales que ejercen sobre ella.

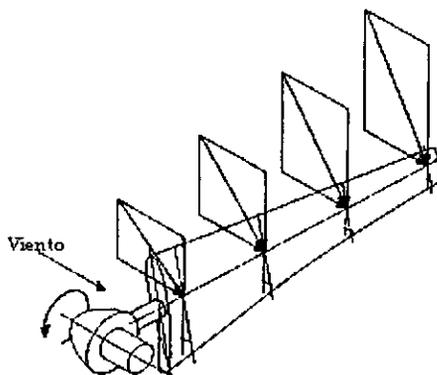
2.10 AERODINAMICA DE LAS TURBINAS DE EJE HORIZONTAL.

En el caso de las palas de un rotor eólico, a la velocidad del viento habrá que sumarle la velocidad que se produce a causa de la rotación de la pala. Esta velocidad debido a la rotación será mayor a medida que nos alejemos del eje del rotor, y su ángulo de incidencia será diferente en cada uno de ellos.

Una pala diseñada para obtener el mayor rendimiento posible a una determinada velocidad de viento no trabaja en las mismas condiciones del viento es diferente o cuando varía la velocidad de giro del rotor, puesto que varía el ángulo de incidencia de la corriente.

Las palas con posibilidad de variar su ángulo de calaje se denomina de paso variable, y las operan siempre con el mismo, cualquiera que sea las condiciones del viento, de paso fijo. Estas últimas tienen un rendimiento aerodinámico inferior para condiciones de viento distintas de las de diseño, pero no requieren mecanismos de variación de paso. Fig. 2.1

FIG. 2.1 PALA DE UN ROTOR EÓLICO DE EJE HORIZONTAL



2.11 AERODINAMICA DE LAS TURBINAS LENTAS DE EJE VERTICAL.

Entre los distintos tipos de eje vertical, existen unos que funcionan con un principio aerodinámico diferente, utilizando las fuerzas aerodinámicas en vez de las de sustentación.

Estos rotores consiguen que la fuerza de resistencia en uno de sus lados sea superior a la del lado opuesto, generando de esta forma un par motor.

En general, este tipo de rotores funciona con rendimientos bajos, pero su diseño es muy sencillo y son fáciles de construir.

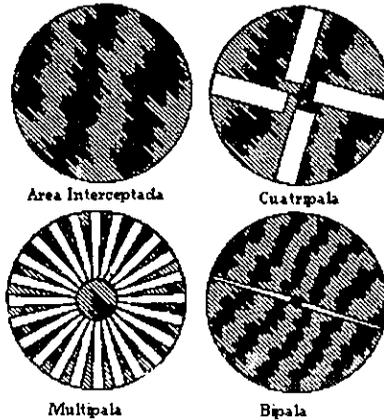
2.12 PARAMETROS CARACTERISTICOS DE LOS ROTORES

Las características generales de un rotor se definen por los parámetros siguientes: solidez, velocidad típica y rendimiento aerodinámico.

La solidez se define como la relación entre la superficie proyectada por las palas y la superficie descrita por las mismas en su movimiento de rotación. Es un parámetro que permite comparar diferentes tipos de rotores desde el punto de vista de la eficacia del material utilizado y de la sencillez constructiva.

Los molinos antiguos y en general todos los que utilizan las fuerzas de resistencia para general el par motor suelen funcionar con solideces bastante elevadas próximas a 1, mientras que las modernas aeroturbinas de alta velocidad trabajan con solideces de 0.1, e incluso de 0.01. Fig. 2.2

FIG. 2.2 *ROTORES EÓLICOS DE EJE HORIZONTAL*



b) Velocidad típica:

La velocidad típica se define como la relación entre la velocidad debida a la rotación en el extremo más alejado de la pala y la velocidad del viento. Es un parámetro adimensional que permite clasificar los rotores en lento o rápidos.

$$\lambda = (\Omega R)/V$$

siendo:

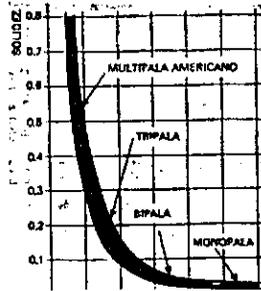
Ω = velocidad de rotación.

r = longitud de la pala.

V = velocidad del viento.

Un rotor de gran diámetro puede tener la misma velocidad típica, aunque gire a bajo número de revoluciones por minuto que otro de menor diámetro y mayor velocidad de rotación.

Fig. 2.3 *PALA DE UN ROTOR EÓLICO DE EJE HORIZONTAL*



c) Rendimiento aerodinámico:

El rendimiento aerodinámico, o coeficiente de potencia, expresa la parte de la energía contenida en el viento que se transforma en energía mecánica en el eje del rotor.

Teóricamente, se puede demostrar que el rendimiento depende de la velocidad típica como parámetro fundamental, una vez dadas las características del sistema eólico. La velocidad típica hace referencia a la velocidad del aire que incide realmente sobre la pala incluyendo la participación del viento y la rotación de la propia pala.

Las características geométricas como el tipo de perfil, ángulo de torsión, y el mismo sistema eólico son los parámetros de los que depende el rendimiento aerodinámico. El teorema de Betz, expresa de forma sencilla que bajo condiciones ideales el rendimiento aerodinámico de los rotores eólicos tienen un máximo teórico que en ningún caso puede operar al 60 por 100. En la realidad dicho rendimiento oscila entre el 20-40 por 100 según los tipos de turbina y en función de la velocidad típica de operación.

2.13 RENDIMIENTO AERODINAMICO EN TURBINAS RAPIDAS DE EJE HORIZONTAL.

Los mayores rendimientos aerodinámicos corresponden a rotores de eje horizontal que funciona con velocidades típicas elevadas. El inconveniente de los rotores rápidos es que tienen poca capacidad para arrancar por si solos. En situación de parada el rendimiento es tan bajo que apenas se genera la potencia suficiente par vencer la inercia y entrar en funcionamiento. En general, en cualquier condición de operación distinta de la de diseño su rendimiento disminuye mucho.

2.14 RENDIMIENTO AERODINÁMICO EN TURBINAS DE EJE VERTICAL TIPO DARRIEUS

Los rotores tipo “Darrieus” presentan también buenas características de rendimiento aerodinámico, aunque algo inferiores a los hélices. Su curva de potencia tiene dependencia muy acusada de la velocidad típica, lo que significa que su rendimiento baja mucho para sus condiciones de operación distinta de las de diseño. Esto favorece la regulación, puesto que al disminuir el rendimiento para velocidades de vientos elevadas la potencia no crece demasiado y el esfuerzo necesario para frenarlo es menor. Sin embargo, también tiene el inconveniente que su par de arranque es muy bajo por lo que requiere de motores auxiliares para ponerlo en funcionamiento.

2.15 RENDIMIENTO AERODINAMICO EN TURBINAS DE BAJA VELOCIDAD.

Los rotores lentos tienen rendimientos muy inferiores a los de las hélices rápidas o a los de Darrieus, pero en cambio presentan mejores cualidades para arrancar por si solos y pueden operar con vientos de baja velocidad. Son mas sencillos de construcción y muy adecuados para aplicaciones de bombeo o de molienda.

NUMERO DE PALAS.

La elección sobre el número de palas más adecuado para un rotor eólico ha sido, a lo largo de la historia del molino de viento, un problema de difícil solución, y a ello se debe que se intentaran todo tipo de posibilidades. A partir de tres palas el rendimiento varía poco, especialmente cuando se trata de rotores rápidos. En los grandes aerogeneradores actuales, en los que el rotor puede suponer cerca del 40 por 100 del coste total de la máquina, se suele adaptar la solución de dos palas, puesto que el incremento de potencia que se obtiene con una tercera pala no compensa el coste adicional. En las turbinas pequeñas las tres palas es la solución más generalizada, ya que el coste de las palas es menos importante y no sólo se mejora algo el rendimiento sino que se facilita el equilibrio del rotor, reduciendo los problemas de vibraciones, que suelen ser las causas de los fallos estructurales.

DIMENSIONES.

El tamaño del rotor depende básicamente de la potencia de diseño de la máquina, y en su determinación hay que tener en cuenta dos factores:

- El contenido medio de la energía de viento en lugar del emplazamiento, que habrá que estimar en función de la información meteorológica disponible, y
- los rendimientos de la turbina: El rendimiento aerodinámico del rotor, el rendimiento mecánico de los engranajes y multiplicadores, el rendimiento eléctrico del generador y circuitos de salida, y finalmente el rendimiento del sistema de almacenamiento.

Si tenemos en cuenta que la velocidad de la corriente incidente es mayor en la parte más alejada del eje y, por tanto, las fuerzas aerodinámicas son también mayores en esa zona, se comprende que la potencia crece rápidamente a medida que aumentamos la longitud de la pala. Es decir, que desde el punto de vista aerodinámico, es preferible una turbina con una sola pala, que otra con dos palas, teniendo ambas la misma longitud de barrido.

En cualquier caso, los problemas técnicos también crece muy rápidamente con la longitud de las palas.

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS.

Las palas de los rotores son la parte más delicada de las aeroturbinas, y en general su diseño y construcción plantea serias dificultades técnicas.

Las grandes aeroturbinas representan una parte considerable del coste total de la máquina (40 %).

La mayor parte de los fallos estructurales de las palas de las turbinas se han producido a causa de las fuerzas cíclicas que actúan sobre ellas y que generan vibraciones sobre las máquinas. Las primeras son siempre cíclicas en los rotores "Darrieus", e incluso en las hélices también pueden producir un fenómeno cíclico cuando están situadas a sotavento. Este fenómeno conocido por efecto sombra, se produce cuando la pala en su rotación pasa por detrás de la torre. La corriente de aire incidente se ve afectada por y las fuerzas aerodinámicas sufren un brusca perturbación.

Las fuerzas centrífugas son muy importantes en el diseño de las palas, y también en su fabricación. Estas fuerzas crecen con el cuadrado de la velocidad de rotación y con la longitud de la pala, por lo que turbinas rápidas y de gran potencia pueden alcanzar valores muy elevados.

En teoría, estas fuerzas no deberían generar cargas cíclicas, sin embargo, en la práctica, basta que durante la construcción se introduzcan las pequeñas diferencias de masa entre las diferentes palas que componen el rotor, para que aparezcan dichas cargas alternativas. Por eso es importante el proceso de fabricación utilizado, y el equilibrado posterior una vez montado todo el rotor. En general, este equilibrado deberá ser más preciso cuando menor sea el número de palas, ya que cuando existen varias palas los posibles errores máximos entre ellas se compensan. Esta es la razón por la que las máquinas sencillas y de baja potencia, donde los métodos de fabricación no son demasiado sofisticados, sean de rotores tripala o cuadripalas.

Las vibraciones producidas por cargas cíclicas o alternativas, afectan y desgastan a los mecanismos, producen ruidos, y son las causas de los fenómenos de fatiga en los materiales por los que su resistencia va disminuyendo con el tiempo hasta que se produce el colapso por rotura frágil. Estos fenómenos, han sido la causa de no pocas catástrofes, y no sólo en el campo de las máquinas eólicas.

Aunque en los rotores "Darrieus" las fuerzas cíclicas son mayores que en las hélices, tienen sin embargo la enorme ventaja de que sus palas están apoyadas en sus dos extremos, con lo que se mejoran mucho sus características estructurales.

La estructura de las palas y los materiales que se emplean en ella deben ser capaces de soportar las tensiones internas sin roturas, evitar las deformaciones que podrían afectar al comportamiento aerodinámico de la pala y reducir al mínimo las fuerzas centrífugas que dependen de su masa. En conjunto deben ser resistentes, rígidos y ligeros.

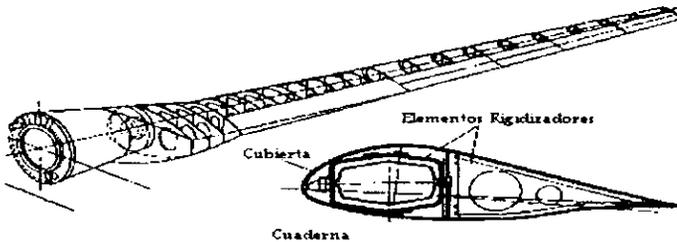
En los últimos años se han ensayado todo tipo de materiales, desde la madera pasando por gran variedad de aleaciones metálicas, y en especial las resinas plásticas polimerizables, que han dado muy buenos resultados y reducido los costes de la pala de forma considerable.

La madera ha sido muy empleada en el pasado y sigue utilizándose en la actualidad. Sus propiedades mecánicas varían mucho según la clase y su tratamiento, sin embargo, suelen ser menos resistentes que otros materiales disponibles y solo su bajo peso y sus buenas características frente a fenómenos de fatiga justifican su utilización. En general, tanto el material como los métodos de trabajo que requieren suelen ser caros.

Entre los metales, los materiales más comunes, son los aceros, y los aluminios. El acero tiene muy buenas propiedades resistentes, pero es demasiado pesado. Al aluminio, en cambio, le pasa lo contrario, salvo en el caso del duraluminio que resulta excesivamente caro. En cuanto a sus características frente a los fenómenos de fatiga, en general, los metales presentan peores propiedades que el resto de los materiales.

Los metales se pueden utilizar en forma de chapa conformada por estampación, en forma maciza mediante métodos de moldeo o en forma estructural. La primera solución resulta sencilla y económica, pero solo es apta para palas de pequeña longitud (2 o 3 m). La segunda resulta cara y demasiado pesada. La tercera solución es, probablemente, la más eficaz. Por regla general, la solución mas utilizada es la de emplear elementos metálicos como estructura resistente, con una cubierta de un material ligero. Fig. 2.4

Fig. 2.4 *PALA. LA ESTRUCTURA SE RIGIDIZA MEDIANTE CUADERNAS.*



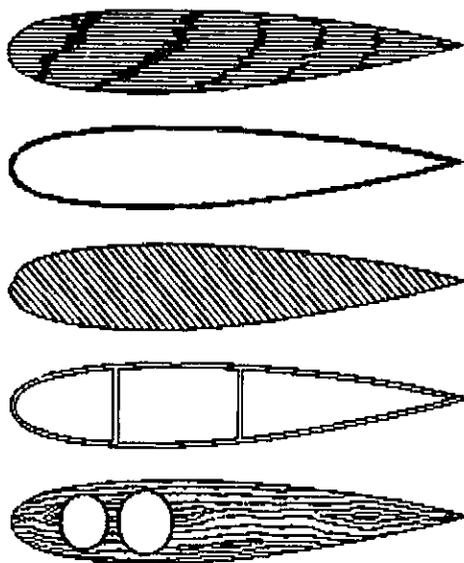
Las resinas plásticas reforzadas con fibras vegetales o minerales constituyen posiblemente los materiales idóneos para la fabricación de palas. Son ligeros, resistentes, con buenas características frente a los fenómenos de fatiga e inalterables ante la agresión del medio ambiente. En palas de gran tamaño con exigencias estructurales muy estrictas, las resinas epoxi refuerzos de fibra de vidrio o de carbono son las que presentan mejores propiedades de resistencias y rigidez. Para palas con menores requerimientos, las resinas con poliéster con fibra de vidrio dan muy buenos resultados y son mucho mas baratas.

Las palas fabricadas en materiales plásticos suelen llevar unos elementos estructurales, una cubierta que da la forma aerodinámica y un relleno de un material ligero que puede ser espuma de poliuretano, o panel de abeja.

El mayor inconveniente de los materiales plásticos es que son demasiados elásticos y se deforman con facilidad. Para evitar este problema hay que recurrir a añadir elementos rigidizantes, bien incorporándolos a las resinas para cambiar el polímero final, o bien como

elemento estructural. Para mejorar las propiedades mecánicas se suele aplicar la fibra de refuerzo en forma de bobinado a lo largo de toda la pala. Fig. 2.5

Fig. 2.5 *DIFERENTES SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS
PARA LA FABRICACIÓN DE PALAS*



Madera contrachapada maciza, Chapa metálica conformada, Aluminio macizo, Aluminio extruido, y Acero-madera-fibra de vidrio, respectivamente

2.16 SISTEMAS MECANICOS.

Los sistemas mecánicos actual en una etapa intermedia entre los rotores, que transforman la energía eólica en mecánica, y los elementos de salida, que adaptan de la forma mas adecuada a los sistemas de utilización y almacenamiento posterior. Su misión es regular la potencia que se obtienen en el eje del rotor y transmitirla a la bomba o al generador de salida, adaptándola a sus condiciones de trabajo.

SISTEMAS DE REGULACION

Los sistemas de regulación tienen la misión de controlar las revoluciones y el par motor en el eje del rotor, evitando las fluctuaciones producidas por las variaciones de la velocidad del viento. Los sistemas de regulación más sencillos trabajan solamente en la etapa de exceso de potencia, evitando velocidades de giro demasiado elevadas que podrían poner en peligro la integridad de la turbina en condiciones de vientos fuertes.

Los sistemas mas elaborados mantienen la fluctuación de la velocidad de rotación dentro de un margen muy estrechos, y todavía existe un tercer nivel de regulación que permite al sistema adaptarse a cualquier condición de viento y de potencia, incluidas las correspondientes a las operaciones de puesta en marcha.

Los primeros se utilizan solamente en máquinas de pequeña potencia y, en general, en grupos autónomos o de bombeo, en los que son aceptables variaciones en la potencia de salida.

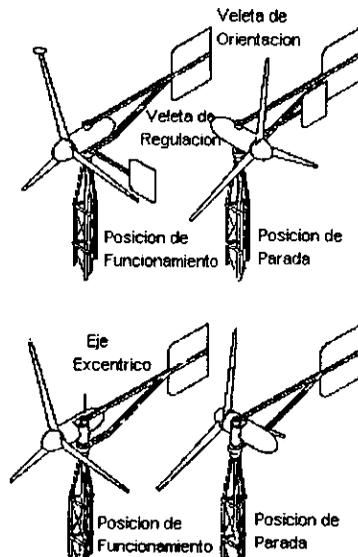
Los dos grandes grupos de sistemas de regulación vienen definidos por su forma de actuación. En unos, el control se realiza actuando sobre el rotor, aumentando o disminuyendo la potencia absorbida. En los otros, la regulación se lleva a cabo sobre el eje del motor. Los primeros solo son posibles en rotores de eje horizontal, mientras que los segundos se pueden adaptar a cualquier tipo de máquina eólica.

1.- Sistema de regulación por acción sobre el rotor

Uno de los primeros sistemas de regulación que se utiliza, durante varios siglos, en los viejos molinos era el de orientación del rotor. El rotor se podía orientar de cara al viento cuando debía funcionar a máxima potencia, o paralelo a la en situación de parada. Entre estas dos posiciones extremas podía regularse a voluntad; y siempre manualmente, el área de captación deseada.

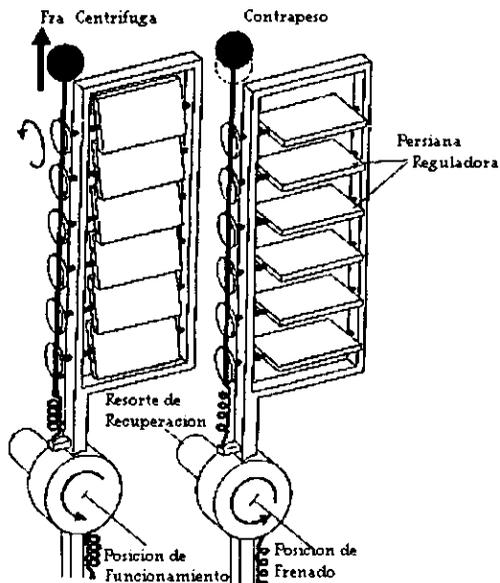
Este tipo de regulación se sigue utilizando actualmente, aunque en solo en maquinas de pequeña potencia. Los sistemas modernos de regulación por orientación de rotor funcionan automáticamente mediante una veleta, que hace girar la turbina cuando la velocidad del viento es demasiado elevada, o bien aprovechando la fuerza del empuje aerodinámico sobre una excéntrica. Ambos sistemas actúan contra un resorte que devuelve la maquina a su posición normal cuando la velocidad del viento disminuye. Fig. 2.6

Fig. 2.6 **SISTEMA DE REGULACIÓN POR ORIENTACIÓN DEL ROTOR**



A partir del siglo XVIII los ingleses utilizaron otro tipo de regulación, consistentes de unas palas provistas de una especie de persianas, que permitía aumentar o disminuir el área efectiva de captación del viento. La persiana se abría o cerraba accionadas por masas inerciales que se desplazaban bajo los efectos de la fuerza centrífuga en función de la velocidad de giro. Fig 2.7

Fig. 2.7 **SISTEMA DE REGULACIÓN TIPO PERSIANA**

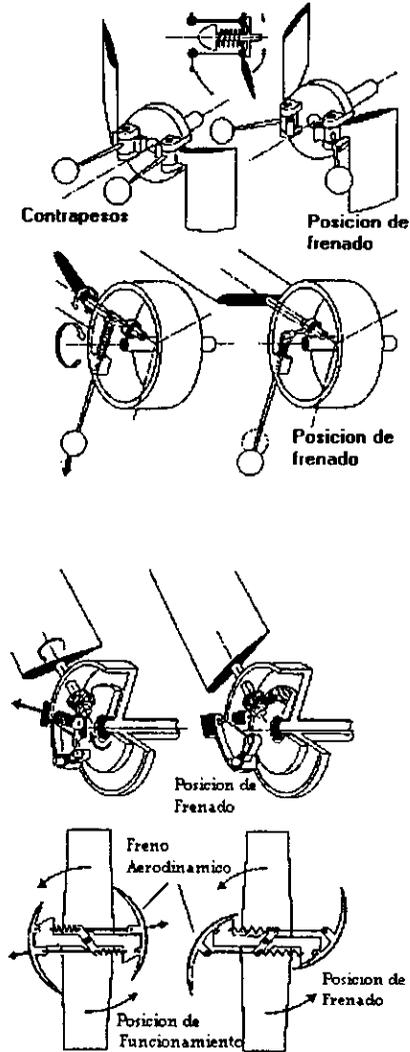


Posiblemente, la forma de regulación más eficaz y de utilización más extendida sea la de paso variable. Este sistema actúa variando el ángulo de ataque de las palas; con lo que se aumenta o disminuye el rendimiento aerodinámico y en consecuencia la potencia absorbida.

Dentro de los diferentes tipos de regulación por paso variable, los más sencillos, que actúan solo en la etapa de exceso de potencia, suelen ir provistos de algún mecanismo de acción centrífuga que mueve el ángulo de calaje de las palas cuando las revoluciones son demasiado

elevadas, llegando a ponerlas en posición de bandera cuando la velocidad del viento alcanza la de desconexión de la turbina. Fig. 2.8

Fig. 2.8 **MECANISMOS DE REGULACIÓN DE LOS AEROGENERADORES**



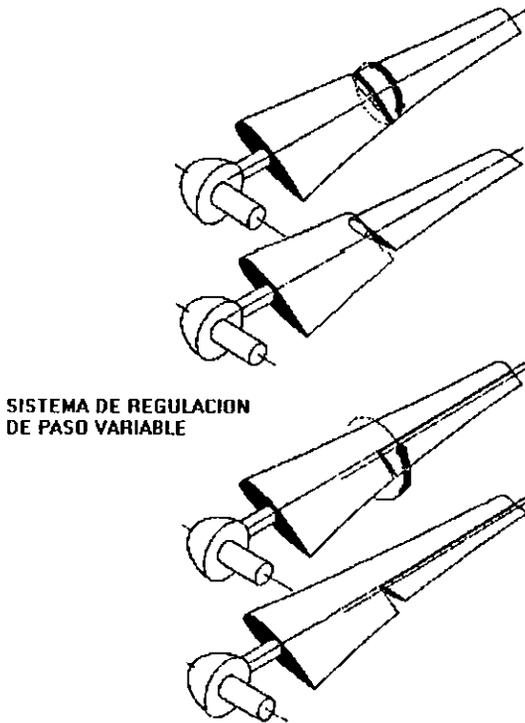
Otro sistema desarrollado en los últimos años en los EE.UU. consiste en una pala cuyo eje presenta cierta elasticidad a la torsión. El ángulo de la pala cambia cuando la acción centrífuga de una masa inercial actúa sobre el eje flexible evitándose la complicación de los mecanismos y muelles.

En máquinas pequeñas y de diseño muy sencillo, se ha utilizado un sistema para variar el ángulo de calaje de las palas basado exclusivamente en la acción de las fuerzas aerodinámicas. Si diseñamos la pala de forma que el eje que la atraviesa y sobre el que gira para adaptar su ángulo de calaje quede por delante del punto sobre el que se obtiene la resultante de las fuerzas aerodinámicas, se produce un momento de giro que tiende a poner las palas en posición de bandera. El sistema va provisto de un muelle para que entre en acción en el momento conveniente y vuelva después a su posición de partida.

Este tipo de regulación se ha utilizado en los rotores a vela, aunque en vez de variar el ángulo de la pala, lo que cambia es la curvatura de la vela.

En el caso de las turbinas de gran potencia, la fuerza necesaria para mover las palas es demasiado grande para confiarla a una masa centrífuga, el problema se suele solucionar mediante un mecanismo que actúa a través del eje motor y del buje, mandado por algún sistema de control automático. Fig. 2.9

Fig. 2.9 PALAS



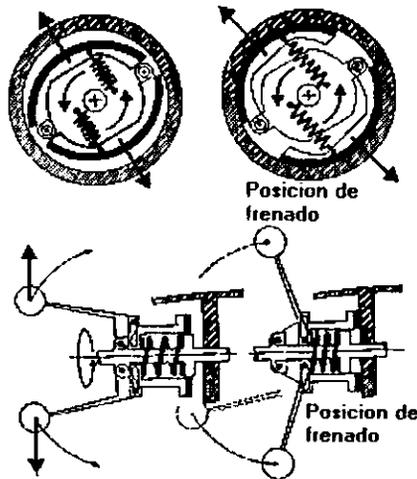
2.-Sistema de regulación sobre el eje.

Este sistema de regulación es el que se utiliza en las turbinas Darrieus y las hélices de paso fijo.

El control de la potencia se realiza mediante el frenado del eje cuando gira a un número excesivo de revoluciones por minuto. El freno puede ser de zapatas, de disco o de tipo electromagnético, y actuar mandado por algún mecanismo centrífugo o mediante algún tipo de circuito de control. Fig. 2.10

Este sistema de regulación por frenado tiene que realizar esfuerzos mayores que en el caso de los sistemas de regulación por acción sobre el rotor, lo que exige que los elementos de los mecanismos sean mucho más resistentes. Sin embargo, tienen las ventajas de que son sistemas más sencillos y que pueden encontrarse ya comercializados, hecho que disminuye considerablemente sus costes.

Fig. 2.10 **SISTEMA DE REGULACIÓN POR FRENADO SOBRE EL EJE DEL ROTOR**



2.17 SISTEMAS DE TRANSMISIÓN

La energía mecánica obtenida en el rotor debe ser transmitida al generador mediante un sistema de acoplamiento, que generalmente consta de una multiplicadora, y en el caso de aerogeneradores de gran potencia de un embrague. Tanto los dinamos como los alternadores, requieren un elevado numero de revoluciones para funcionar eficazmente, por lo que la mayoría de los aerogeneradores deben de ir provisto de una multiplicadora que eleve las vueltas del rotor. Casi especial lo constituyen los que se utilizan directamente para bombeo, o los que disponen de un sistema especial de salida.

Existen diferentes tipos de multiplicadoras comerciales. Para maquinas de baja potencia las poleas dentadas o incluso las trapezoides, pueden ser una solución adecuada con un funcionamiento silenciosos y capaces de: absorber vibraciones. Las multiplicadoras de engranajes deben de ir provistas de cajas blindadas para protegerlos del medio ambiente y con sistemas de lubricación de bajo mantenimiento.

Se han desarrollado también cierto tipo de rotores especiales que evitan la necesidad de utilizar multiplicadora. La compañía Morel diseñó un sistema de acoplamiento directo que consiste en tomar el par motor en la periferia del rotor en vez de hacerlo en el eje. Otro método, lleva un rotor de doble hélice en el que cada una de ellas gira en sentido contrario. El inducido del generador se acopla a una de ellas y la excitación a la otra. Las aeroturbinas de gran potencia suelen ir provistas de un embrague que conecte el generador cuando el rotor haya alcanzado la velocidad de régimen.

2.18 SISTEMAS DE ORIENTACION

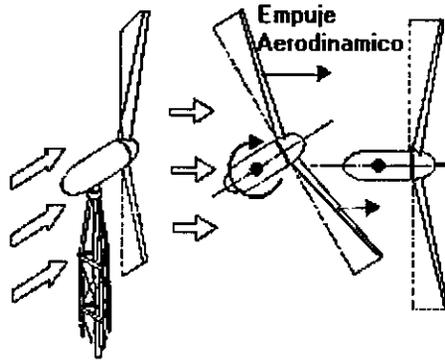
La orientación del rotor se resuelve básicamente mediante unos mecanismos de giro de bajo rozamiento (rodamiento, lubricación), apoyados por sistemas mas o menos automatizados que mueven la turbina sin grandes dificultades. Sin embargo, en las maquinas de gran potencia no deja de ser un gran problema a resolver y aún, por tanto, ofrece ciertas ventajas

comparativas a las turbinas de eje vertical que no presentan este inconveniente. Las pequeñas turbinas suelen utilizar un sistema de orientación, sencillo y de muy buenos resultados, consistente en una cola aerodinámica que actúa como una veleta; cualquier alteración de la posición de equilibrio genera un empuje sobre la cola que tiende a devolver la turbina a su posición original. Fig. 2.11

En los aerogeneradores de gran potencia la solución no es tan sencilla y, en general, requiere de motores auxiliares que funcionan automáticamente mediante servomecanismos, y que son los que se encargan de orientar la hélice en la dirección adecuada. En cualquier caso el movimiento de rotación que se produce puede afectar negativamente a las palas generando unas oscilaciones difíciles de solucionar.

Existe otro sistema de orientación que está siendo muy utilizado en las grandes máquinas eólicas. El sistema está basado en el efecto de conicidad de las palas, que genera una fuerza aerodinámica cuando el rotor no está orientado las palas de la hélice se sitúan a sotavento y se inclinan ligeramente hacia atrás, de forma que en su rotación describan un cono. Cuando la hélice no está orientada, las palas que se encuentran más a favor del viento reciben un mayor empuje aerodinámico, que tiende a variar la orientación del rotor hasta conseguir la posición de equilibrio donde todas las palas sufren el mismo empuje.

Fig. 2.11 **SISTEMA DE ORIENTACION**



SISTEMA DE ORIENTACION POR EFECTO CONICIDAD

CAPITULO III

EVALUACION ENERGETICA EN "LA VENTOSA", OAXACA**INTRODUCCION.**

La generación de electricidad a partir de la energía del viento, se remonta a fines del siglo pasado, cuando el científico danés, Paul Le Cour, diseñó y construyó el primer aerogenerador.

El bajo precio del petróleo, hacía difícil competir económicamente con plantas termoeléctricas convencionales y por otro lado, problemas tecnológicos asociados a la construcción de grandes aspas que soportaran los esfuerzos, flexiones y vibraciones a que estaban sujetas, prácticamente hicieron que esta forma de generación eléctrica se abandonara.

Con el desarrollo de la aeronáutica y la industria aeroespacial, la tecnología de materiales a tenido un impulso considerable. Con el aumento de los precios del petróleo, se daban las condiciones para un nuevo panorama de factibilidad económica para grandes aerogeneradores interconectados a un sistema eléctrico.

El problema tecnológico actual de mayor importancia continua siendo el diseño, la construcción, materiales y peso de los rotores. La solución a esto problemas es cuestión de tiempo, el necesario para probar y seleccionar todas aquellas soluciones tecnológicas que se van proponen actualmente.

3.1 ECONOMIA DE GRANDES AEROGENERADORES

En general, se puede esperar que los aerogeneradores tengan menos valor para una empresa eléctrica que las plantas convencionales debido a la inherente falta de confiabilidad de viento. Palmer C. Putman, realiza un cuidadoso y detallado análisis de la economía de la energía eólica, enumerando el valor de la energía eléctrica generada con el viento, en términos de cuatro componentes:

- a) Valor de energía
- b) Valor reactivo
- c) Valor de capacidad
- d) Valor de pronosticabilidad

Putman, y varios investigadores han llegado a la conclusión que el valor de capacidad solamente existe cuando los sistemas de energía eólica están asociadas a un sistema de almacenamiento de energía tal como hidroeléctricas de rebombeo o reservas naturales en plantas hidráulicas, sistema de aire comprimido asociado a una turbina de gas o la futura tecnología de grandes volantes. Sin embargo, se considera también, la capacidad eólica puede ser obtenida a través de la diversidad geográfica natural de un sistema de energía eólica extensamente distribuida la cual requiere ser probado y hasta donde existe este valor de capacidad.

El valor reactivo se relaciona en generadores síncronos operando ya sea en vacío como condensador síncrono, o a baja carga con favorable factor de potencia. Las máquinas de inducción, por el otro lado, representan una sustancial carga inductiva y por lo tanto no tienen valor de capacidad, si no por lo contrario una penalización.

El valor de pronosticabilidad, tiene que ver con la habilidad de pronosticar la disponibilidad de los sistemas de energía eólica con algunas horas de anticipación.

El ahorro de combustible o agua, en general será función del periodo del día durante el cual la energía eólica esta realmente disponible y de la manera en que repercute en el despacho de carga.

Considerando únicamente el valor de energía aportada, o desplazamiento de energía en el sistema eléctrico, se hace aquí un análisis de los factores que determinan su factibilidad económica. Esta evaluación involucra los siguientes factores:

- 1.-La producción de energía del aerogenerador sobre las características de velocidad de viento.
- 2.-El patrón de distribución de velocidades de viento a lo largo del día y los meses del año.
- 3.-Los pronósticos de energía producida en periodos definidos durante el día, para cada mes y la total para el año.
- 4.-El patrón de distribución de carga en el sistema y sus correspondientes costos de generación.
- 5.-El valor anual de los KWh de generación eólica esperada, basada en costos reales de generación actuales y futuros.
- 6.-La cantidad de inversión que puede ser justificada para proporcionar los ahorros anuales igual al valor de los KWh generados.

Desde el punto de vista financiero, las inversiones productivas de una empresa están orientadas básicamente a aumentar los ingresos o disminuir los costos. Para una empresa eléctrica del sector público, existe además el requerimiento básico de satisfacer las necesidades de energía eléctrica, dentro del marco de planes de desarrollo nacional.

Para una empresa eléctrica, las inversiones en aerogeneradores acoplados al sistema, produciendo un desplazamiento de energía, pueden significar reducción de costos.

El costo del KWh producido por aerogeneradores depende de los costos de inversión del sistema durante su vida útil así como de la particularidad climatología del viento en el punto de uso, la competitividad de estos costos se dan en relación con las características del sistema eléctrico al que esta integrado.

Haciendo aun lado las características del sistema eléctrico y sus costos de producción, al que potencialmente se puede interconectar un sistema de aerogeneradores, se analizan a continuación las características inherentes a estos sistemas que condicionan el costo del KWh producido.

En términos generales puede decirse que los grandes aerogeneradores serán similares en costo de inversión al de plantas de turbinas de gas y sus costos de operación al de plantas hidroeléctricas, lo cual significa que representarían los costos más bajos tanto e inversión como de operación.

Para un aerogenerador dado, la producción anual en KWh depende de sus características de diseño, así como de las condiciones del viento en el punto de uso, en base, a un lugar determinado.

Este factor esta dado por la relación KWh/KW instalado referido a un año y tiene similitud con el concepto de factor de planta aplicado a un generador comisional.

Para un mismo lugar y plantas de igual capacidad nominal del generador, la energía producida será distinta si las características del rotor son diferentes si desde el punto de vista eléctrico la capacidad instalada le determina el tamaño del generador, no considerando el rotor esta capacidad esta definida en función de la velocidad de viento a la que especifica la plena potencia mecánica en la flecha del generador y obtener así la generación eléctrica nominal.

Dado el patrón de distribución de velocidad en el punto de uso, la cantidad de energía total producida al año dependerá del numero de horas en que el viento soplo con una velocidad igual o mayor a la especificada, además de aquella producida sin trabajar a plena capacidad, durante el tiempo en que el viento soplo a velocidades entre la mínima permisible para generación o de inicio y la correspondiente a plena capacidad o velocidad nominal.

Para una misma capacidad de generador, especificar diferentes velocidades nominales para plena potencia, significa trabajar con rotores de diferente diámetro; de esto se deriva la consideración básica de que la factibilidad económica de la energía eléctrica producida por grandes aerogeneradores, depende de una cuidadosa evaluación y caracterización del recurso energético eólico en la región donde se instalará la red de aerogeneradores, y se especifique adecuadamente la velocidad nominal para plena potencia.

La tabla 1 ilustra esto, basándose en un estudio de la compañía BOEING para una empresa eléctrica en los Estados Unidos.

Los objetivos de costo para la energía eléctrica producida por aerogeneradores, para ser competitiva, requiere, de costos de capital en el rango de 300 a 500 dólares (1977) por KW instalado para la década de 1990.

En la actualidad, esta reducción en el costo del kW instalado, esta asociado directamente a la reducción en peso y en esta consecuencia en consumo de materiales de la instalación completa. Esto por cuanto a los costos fijos, considerando las variables se estima que la producción en serie dará las condiciones favorables de reducción de estos costos.

Existe una economía de escala asociada a los grandes aerogeneradores, tanto por lo que se refiere a su fabricación industrial como por cuanto a su capacidad en sí, habiendo una tendencia hacia el desarrollo en el rango de los 3 a 5 MW.

De un estudio de la General Electric se concluyen tres cuestiones relativas a la generación de electricidad con energía eólica:

- 1.- A mayor diámetro de rotor, mayor economía.
- 2.- Se requiere aún más experiencia de campo con unidades demostrativas.
- 3.- La investigación de las características del recurso eólico en el sitio de interés es esencial para una aplicación variable.

Por lo que respecto a los aspectos técnicos asociados al aerogenerador, especialmente para sitios con bajos regímenes de velocidad del viento, las conclusiones son:

- 1.- Los mayores diámetros de rotor son la clave a la economía.
- 2.- El camino más efectivo de reducción de costo de inversión, es la reducción de peso para el sistema completo.

TABLA 1
Configuración de Aerogeneradores para 3 Distintas Velocidades de Diseño
en un mismo sitio

Capacidad nominal KW	1000	1000	1000
Velocidad de diseño para			
Plena capacidad (m/s)	8	10	13
Altura de la Torre (m)	60	45	45
Radio de aspas (m)	54	41	29
Energía generada anual			
(MWH)	6900	5100	3200

3.2 POSIBILIDADES DE APROVECHAR ESTA TECNOLOGIA EN MEXICO

Dado el trabajo que a nivel mundial se desarrolla, enfocado a grandes aerogeneradores, es de preverse la disponibilidad comercial de estos sistemas en una década mas. Independientemente de que en México se acometa el desarrollo autónomo de esta tecnología, para el sector eléctrico el considerar esta fuente energética tienen tres antecedentes básicos:

- 1.- El crecimiento de demanda de energía eléctrica en el país.
- 2.- La disponibilidad comercial a mediado el plazo de grandes sistemas conversores de energía eólica.
- 3.-La existencia de una región como "La Ventosa", 10,000 Km. de litoral con aprovechamiento de brisas y otras zonas mas que existen en el país, restringidas geográficamente, con buen potencial eólico.

Considerando en primer instancia la zona de "La Ventosa", Oax.; se realizó un análisis preliminar de su posible potencial de generación eléctrica en gran escala con energía eólica, a partir de cuyos resultados iniciales se propone a la C.F.E., el inicio formal de estudios específicos, inicialmente sobre la evaluación eólica de la mencionada zona.

3.3 DESCRIPCION DE LA ZONA DE VIENTOS

3.3.1 delimitación de la zona.

La ventosa Oax., está situada en la región del Istmo de Tehuantepec, a 15 km. al Noroeste de Juchitán, Oax., se le ha dado el nombre de "La Ventosa", por ser un lugar de vientos persistentes y de velocidades significativas, pero de hecho la zona se extiende 45km. al suroeste, hasta Salina Cruz, Oax. , y a 38 Km al Noroeste hasta el ingenio azucarero de Santo Domingo, Oax.

La delimitación real tomada como centro de la zona la ciudad de Juchitán, Oax., será:

Al Norte: 12 Km hasta la línea de ferrocarril transísmico.

Al Noreste: 32 Km en línea recta hasta Santo Domingo, Oax., y 18 Km hasta las faldas del cerro "Lagartero" pasando por la Ventosa, Oax.

Al Este: 21 Km hacia Unión Hidalgo, Oax., aumentando en 15 Km mas adelante.

Al Sur: 11 Km hasta las playas del Lago Superior.

Al Suroeste: 30 Km hasta la ciudad de Tehuantepec, Oax., y 34 Km en línea recta hasta el cerro de Salina Cruz, Oax.

Al Noroeste: 18 Km en línea recta, hasta la ciudad de Ixtepec, y 16 Km hasta Comitancillo, Oax.

Esta abarca un área total aproximada por las irregularidades del terreno de: 1,584 Km².

3.3.2 topografía:

Los 1,584 km² de área total de la zona de vientos considerada se encuentra a un nivel de 0 a 50 metros de altura sobre el nivel del mar. Toda la zona es prácticamente una llanura costera con poca variación en su topografía.

3.3.3 datos meteorológicos de la zona

El Atlas del Agua de la República Mexicana, editado por la antigua Secretaría de Recursos Hidráulicos, proporciona los siguientes datos obtenidos del Observatorio Meteorológico de Salina Cruz, Oax.

El promedio anual en el periodo 1951-1970 (21 años) de la rosa de los vientos fue de 59.5% (217 días/año) con una velocidad de 6.8 m/seg. (24.48 Km/hr), con viento del Norte.

El 31.2% (114 días/año) con una velocidad de 3.2 m/s (11.52 Km/ hr) con viento del Sur.

El 2.1% (8 días/año) con una velocidad de 1 m/s (3.6 Km/hr) en otras direcciones, con un período promedio de calma de 7.2% (26 días/año).

3.3.4 Clima

El clima dominante en la zona es el cálido subhúmedo con lluvias en verano, su temperatura media anual es de 27.6°C y su precipitación media anual es de 1,300 mm. Las lluvias son en el verano (de junio a octubre) y una sequía en invierno (de noviembre a abril), no existen heladas ni granizadas. El número de días despejados al año de 1941 a 1970, fue de 194. El clima tiene una oscilación térmica media anual moderada, es decir es casi isotermal, sin diferencias térmicas notables entre verano e invierno.

3.3.5 Temperaturas:

Medias mensuales de 1941-1970 (enero)	=	25.2°C
Medias mensuales de 1941-1970 (abril)	=	29.1°C
Medias mensuales de 1941-1970 (julio)	=	18.5°C
Medias mensuales de 1941-1970 (octubre)	=	27.3°C
Medias mensuales de 1921-1960	=	27.6°C
Máxima extrema (abril, 1940)	=	45.5°C
Mínima extrema (enero 29,1966)	=	10 °C
Máxima promedio de 1941-1970	=	32.2°C
Mínima promedio de 1941-1970	=	22.6°C

3.3.6 Presión Atmosférica:

Media en enero de 1941-1970	=	761.9 mm. Hg.
Media en abril de 1941-1970	=	760.3 mm. Hg.
Media en julio de 1941-1970	=	760.9 mm. Hg.
Media en octubre de.1941-1970	=	760.6 mm. Hg. .
Media anual de 1941-1970	=	760.7 mm. Hg.

3.4 ESCENARIO DE GENERACION ELECTRICA CON ENERGIA EOLICA

La cuantificación de la posible capacidad instalada para cada uno de los escenarios, se hace bajo las siguientes consideraciones:

- 1.- Las capacidades de los aerogeneradores tienen un rango posible de 2 a 4 MW.
- 2.- La separación entre aerogeneradores va de 1 a 3 Km (10 a 30 veces el diámetro del rotor).
- 3.- La distribución de aerogeneradores tiene un arreglo romboidal, cuyo eje mayor corresponde a la dirección de los vientos dominantes.

3.5 DESCRIPCION DE LA RED ELECTRICA EN LA ZONA

La zona cuenta con una planta termoeléctrica en Juchitán de 12.5 MW de capacidad, que se conecta por una línea de transmisión de 115 KV a la subestación de Tuxtla Gutiérrez en Chiapas, y por otra, también de 115 KV a la subestación de Acayucan en Veracruz.

Además existe una línea de 66 KV que llega hasta Donaji, pasando por Matías Romero, y otras que va a Salina Cruz, Oax. de 69 KV siendo estas las líneas principales en la zona.

A través de estas líneas, se tiene interconexión por Tuxtla Gutiérrez con la planta hidroeléctrica de Malpaso y Angostura con una capacidad combinada de 1, 980 MW (a plena capacidad de Malpaso) y las pequeñas plantas hidráulicas de Bombana, Schpoina y la termoeléctrica de Villahermosa.

Por la línea de Acayucan, esta la planta diesel de Jesús Carranza, y a través de Acayucan existe interconexión con las hidroeléctricas de Chilapan y Temazcal y la ciclo combinado de dos bocas, Ver., entre otras.

3.6 DESCRIPCIÓN DE ESCENARIOS

3.6.1 *Baja Capacidad*

Considera una fila de aerogeneradores a lo largo de la línea de transmisión que corre a un lado de la carretera transítmica (línea Juchitán - Acayucan de 115 KV), sobre la que pasa junto a la carretera internacional (Juchitán - Tuxtla Gutiérrez de 115 KV) y sobre las líneas a Ciudad Ixtepec y la línea al lado de la vía del ferrocarril hasta Unión Hidalgo. Oax.

Estas líneas tienen una longitud total de 113 Km dentro de la zona de vientos considerada. Considerando los pueblos y otras instalaciones, tentativamente se han totalizado 65 puntos para la localización de aerogeneradores, tomando una separación base de 1 Km entre ellos.

3.5.2 Mediana Capacidad

Se considera la inclusión de dos filas de aerogeneradores, una a cada lado de las líneas, en una configuración alternada que nos proporciona 130 puntos para localización de aerogeneradores.

3.6.3 Alta Capacidad

Al escenario de capacidad media, se agregaría una malla de aerogeneradores localizada en la zona delimitada por:

- Eje Norte-Sur pasando por la población de La Ventosa
- Playa Norte de la laguna Superior
- Carretera Internacional al Norte
- Eje entre Unión Hidalgo y Santo Domingo

Esta superficie corresponde a tierras altas, que carecen de sistemas de riesgo y cuyo uso potencial es bajo en actividades agropecuarias.

Esta malla de generación, tendría un área mínima de 100 Km² que incluiría 100 unidades en una configuración romboidal, cuya distancia entre vértices sería de un kilómetro. Esta última alternativa totaliza 230 unidades; tentativamente.

3.7 LOCALIZACION DE SITIOS ESPECIFICOS PARA LA INSTALACION DE ESTACIONES ANEMOMETRICAS.

3.7.1 Análisis de Mapas Topográficos y Climatológicos.

Variación del flujo por desniveles topográficos: como la distancia en línea recta entre el meteorológico de Salina Cruz y la zona "la Ventosa" es relativamente corta (45km), y dado que la diferencia de altitudes sobre el nivel del mar es pequeña (menos de 50m), no existen diferencias significativas en las presiones atmosféricas entre los dos lugares. Esto quiere decir que una diferencia importante como es la velocidad entre ambos no se daría por los gradientes de presión en la zona. Por otro lado, la topografía del lugar en donde se encuentra localizado el observatorio de Salina Cruz es muy irregular. Se puede observar en el mapa que este se encuentra entre cerros y prácticamente en una ladera al final de la sierra que delimita la zona de vientos. Esto hace suponer cierta disminución en el flujo del viento medido y altos niveles de turbulencias, la cual produce ráfagas con velocidades máximas absolutas registradas en esta estación, hasta de 56m/s con dirección noroeste. De acuerdo a esto, la franja de 1 Km de ancho a lo largo de la zona delimitada por la línea de nivel de 50 metros sobre el nivel del mar, en las laderas de la sierra, son zonas de altos niveles de turbulencia. Esto debe tomarse en consideración en la disposición de los sitios para las estaciones anemométricas. Estas variaciones en el flujo del viento son mínimas en toda la zona de "la Ventosa" por no tener obstrucciones ni desniveles topográficos de consideración.

3.7.2 Ubicación tentativa de las estaciones anemométricas

Tomando en cuenta los estudios anteriormente reseñados de la zona ventosa, se proponen los sitios con apego a las siguientes consideraciones:

A) De acuerdo a la zona tentativa de generación.

Se considera que el aprovechamiento de la energía eólica de la zona será la generación eléctrica por medio de grandes aerogeneradores interconectados a las actuales líneas de

subtransmisión en la zona. Estas turbinas eólicas irán a uno o a ambos lados de estas líneas y/o en un conjunto o malla de aerogeneradores en una zona delimitada. Con este arreglo, las estaciones anemométricas irán dentro de los límites de estas zonas.

B) De acuerdo al análisis de la rosa de los vientos del meteorológico de Salina Cruz.

La rosa de los vientos nos indica que anualmente existe el 59.5% de viento con velocidad de 6.6 m/s en dirección norte, esto nos lleva a proponer la instalación de dos anemómetros sobre un eje este-oeste, para poder cubrir una mayor extensión por cada uno de ellos.

C) De acuerdo a la ubicación de la boca de flujo.

Como se ha dicho anteriormente, la boca de flujo del viento se encuentra entre los 94°45' y 95°09' de longitud oeste con un ancho aproximado de 44 Km. Se proponen estaciones anemométricas separadas a 15 Km una de otra, cubriendo una longitud de 30 Km sobre un eje este-oeste a 2 Km de "La Ventosa" y localizado en los 16°32' de latitud norte. Dos estaciones anemométricas más cubrirán el área de la línea de transmisión que sigue lateralmente la carretera Juchitán-Tehuantepec y el área de la línea de transmisión que sigue lateralmente la carretera Tehuantepec Salina Cruz.

D) De acuerdo a las características topográficas de la zona.

Se ha propuesto este número de estaciones, por la razón de que toda la zona ventosa no tiene desniveles topográficos de importancia, ya que la curva de nivel de 50 metros sobre el nivel del mar abarca toda el área, con excepción de los cerros ya mencionados. Por esto, se pueden cubrir grandes áreas de zonas ventosas con esta pequeña red de estaciones anemométricas.

E) De acuerdo a las obstrucciones naturales de la zona.

Las cuatro estaciones anemométricas estarán ubicadas en lugares donde estén expuestas al flujo del viento de todas las direcciones y donde se encuentre un área libre con un radio no menor de diez veces la altura de cualquier obstrucción. Prácticamente las mayores obstrucciones naturales que podrían encontrarse son los cerros Lagartero y Llovizna que se encuentran cerca de "La Ventosa", pero el eje que liga los dos anemómetros estaría localizado

a 3 Km de dichos cerros que tienen un nivel de 250 y 150 metros sobre el nivel del mar respectivamente.

Finalmente, podemos decir que los sitios donde estarán instaladas cada una de las estaciones, se encuentran en lugares accesibles, tanto para su transporte como para sus periódicas lecturas y mantenimiento.

3.7.3 Resumen y Coordenadas de cada uno de los Sitios Específicos de Instalación de las Estaciones Anemométricas.

Estación núm. 1: Se instalará en la posición 16°31'50" latitud norte y 94°48'57" longitud oeste. Su acceso será: de la ciudad de Juchitán, Oax., tomando la carretera internacional núm.90, rumbo noreste, hasta el poblado de La Venta, Oax., de allí 8 Km más hacia el sur de esta población, sumando un total aproximado de 40 Km.

Estación núm. 2: Estará localizada en la posición 16°31'50" de latitud norte y 94°59'44" de longitud oeste. Su acceso será: de la ciudad de Juchitán, Oax., sobre la carretera internacional núm 90, rumbo noreste, a 10 Km de esta ciudad camino a "La Ventosa" y después 3.5 Km en camino de terracería rumbo noroeste, con un total de 13.5 Km aproximadamente.

Estación núm.3: Su localización será en la posición 16°22'40" latitud norte y 95°7'25" de longitud oeste. Su acceso será: de la ciudad de Juchitán, sobre la carretera internacional núm. 190, rumbo suroeste, a 13 Km de esta ciudad camino a la ciudad de Tehuantepec, Oax., después de 2 Km rumbo al sur en camino de terracería, sumando 15 Km aproximadamente.

Estación núm.4: Esta estación estará ubicada en 16°17'00" de latitud norte y 95°12'05" de longitud oeste. Su acceso será: de la ciudad de Juchitán sobre la carretera internacional núm. 190, rumbo sureste, a 30 Km de la ciudad de Tehuantepec, Oax., y en seguida tomando la carretera transistmica núm. 185, rumbo al sureste, a 6 Km camino al puerto de Salina Cruz,

Oax. De esta carretera a 2.5 Km en terracería rumbo noreste, sumando un total de 38.5 Km aproximadamente.

Estación núm.5: Se propone una torre de 30 metros para mediciones de parámetros del viento a tres niveles (10,20 y 30 metros), localizada en los terrenos del Instituto Tecnológico Regional del Istmo, en Juchitán, Oax., con el fin de caracterizar en forma preliminar el gradiente vertical, turbulencia y otros parámetros atmosféricos de interés en esta primera etapa de medición y caracterización del viento.

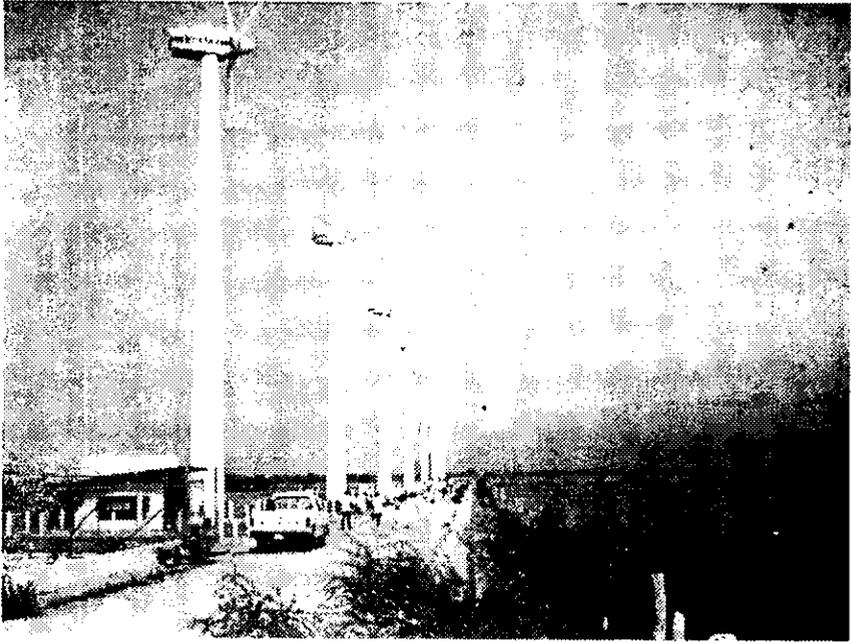


CENTRAL EOLIELECTRICA

LA VENTA, OAX. CAP. 1575 Kw
7 AEROGENERADORES DE 225 Kw
27 M DE DIAMETRO. 31.5 M ALT. 43 RPM.

GERENCIA DE PROYECTOS GEOTERMIELECTRICOS
NUEVAS FUENTES DE ENERGIA

LA VENTA OAXACA



LA VENTA, OAXACA

CAPITULO IV

AEROGENERADORES

INTRODUCCION

Un gran número de sistemas de captación de energía eólica han sido patentados, algunas veces puestos a punto y realizados a un nivel de prototipo; no obstante pocos de ellos se han generalizados.

Efectivamente, desde el momento en que se dispone un artefacto que permita originar unas fuerzas simétricas con relación a un eje, se puede obtener un movimiento (de rotación, de traslación. Bombeo, por ejemplo, que produzca energía mecánica transformable a su vez, en energía eléctrica. Evidentemente habrá que contestar aún preguntas claves: ¿de qué tamaño será el artefacto? ¿Cuánto costará? ¿Durante cuánto tiempo podrá funcionar, y con vientos de qué intensidad, en consideración a una determinada energía?.

4.1 LAS PALAS DEL AEROMOTOR

Las palas son una parte muy importante del aeromotor. De su naturaleza dependen el buen funcionamiento y la duración de la vida de la máquina, así como su rendimiento.

Hay muchos elementos que caracterizan estas palas:

- longitud
- anchura
- perfil
- materiales
- diámetro

Entre estos elementos, algunos se determinan por las hipótesis de cálculo, potencia y par. Por orden de importancia son: longitud, perfil y anchura.

Los otros se eligen en función de criterios tales como: costos, resistencias a las condiciones climáticas de trabajo, etc.

La Longitud de las Palas.

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

Diámetro en m.	1	2	5	10	20	50
n max. en						
r.p.m....	2000	1000	400	200	100	40

El Perfil.

Se elige en función del par deseado, cada perfil proporciona, para el ángulo de ataque óptimo un par función.

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

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

Sin embargo, la mayoría de los aeromotores de mas de 100 kW tienen las palas alabeadas. Las características de los perfiles se determinan en el túnel aerodinámico. En general se han estudiado para la aviación (alas o hélices).

Anchura. (longitud de la cuerda del perfil)

La anchura de las palas no interviene en la potencia del aeromotor, que es función de la superficie barrida. La anchura interviene en el par de arranque que será mayor cuanto mas ancha sea la pala, pero para obtener velocidades de rotación elevadas se prefieren las palas finas y ligeras. El resultado será pues un compromiso entre estos dos factores

- Material

Contrariamente a lo que se cree frecuentemente, no es la propia aerodinámica en donde esta la dificultad, sino en la construcción y la resistencia de los materiales de las palas.

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

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

El material utilizado para las palas deben responder en los aeromotores modernos a frecuencias elevadas de rotación y a otras exigencias, a veces contradictorias:

- Ligero
- Perfectamente homogéneo para facilitar la producción en serie
- Indeformable
- Resistente a la fatiga mecánica (en particular a las tensiones alternas debidas al funcionamiento de los rotores y a las vibraciones);
- Resistente a la erosión y a la corrosión;
- De uso y producción sencillos;

- Coste bastante bajo para que el aeromotor se pueda construir y vender.

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

MADERA.

Presenta ciertas ventajas: es sencilla, ligera, fácil de trabajar y resiste bien a la fatiga.

Pero a menudo le falta homogeneidad, se puede deformar y es sensible a la erosión.

La falta de homogeneidad obliga a los constructores a elegir las palas en función de su masa, la cual puede variar a lo largo del tiempo de diferente manera para dos palas iguales cuando están en servicio.

Estas variaciones de masa y estas deformaciones son el origen de vibraciones destructoras para los aeromotores.

El nogal y la haya son las dos maderas más utilizadas en la fabricación de las palas, pero el nogal es una madera escasa, por lo tanto cara, sobre todo si se quieren hacer palas de una longitud superior a 2 metros.

Para conservar las ventajas de la madera y reducir los inconvenientes, se puede recurrir a tratamientos o protecciones de la madera antes o después de hacer la pala:

- Chapas encoladas o chapas pegadas con baquelita;
- Protección contra la humedad por tratamiento hidrófugo;
- Protección del borde de ataque por un perfil pegado (o clavado);
- Protección total por un cubrimiento ligero;
- Por revestimiento sintético duro (resina de poliéster)
- Por revestimiento de neopreno.

METAL

Por lo general en las palas se emplea una aleación ligera con silicio o con magnesio, ya que con estos materiales se pueden obtener a precios muy bajos si se producen grandes cantidades (aluminio moldeado, hilado o repujado).

Sin embargo, hay que destacar que el aluminio resiste bastante mal la fatiga, lo cual limita su empleo. También existen materiales ligeros con características mecánicas superiores, pero su costo hace difícil su empleo.

MATERIALES SINTETICOS, RESINAS, FIBRAS Y OTROS

Algunos aeromotores funcionan con palas de materiales plásticos (10 kW bipala) pero estos materiales, siendo muy interesante en ciertos aspectos, como:

- poco peso
- insensibilidad a la corrosión;
- buena resistencia a la fatiga,

presentan ciertos inconvenientes que podrían reducirse:

- coste elevado;
- falta de homogeneidad en la construcción; las características dimensionales pueden variar de una pala a otra.

PALAS COMPUESTAS

Las palas con diferentes materiales son una buena solución, en particular para los aeromotores de pequeña y mediana potencia. Ejemplos:

- Aleación ligera + espuma de poliuretano
- Aleación ligera + poliéster y fibra de vidrio;
- Madera + poliéster;
- Madera + metal.

Las palas son las partes del aeromotopr que sin duda tienen que evolucionar más.

numero de palas

Aeromotor con par de arranque elevado. son las hélices multipalas conocidas por todo el mundo para el bombeo de agua y cuyo par de arranque es proporcional al numero de palas y al diámetro la velocidad de la punta de la pala esta limitada, su diámetro máximo es de 8 metros.

Aeromotores denominados "rapidos". Generalmente son bipalas o tripalas; el número de palas no tiene influencia en la potencia proporcionada, sino que es función de la superficie barrida por el rotor.

Las maquinarias que se construían antes eran generalmente tripalas, pero en la actualidad suelen ser bipalas, aunque sean de pequeña o gran potencia.

4.2 SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y REGULACION

Cualquiera que sea el tipo de aeromotor es necesario, para evitar su destrucción cuando los vientos son demasiado fuertes, que esté provisto de un sistema que permita disminuir las tensiones mecánicas en la hélice.

Los sistemas pueden actuar de diferentes manera, mas o menos precisas y con un grado de automatismo nulo o integral.

Sistema de frenado manual

Es el método más simple para proteger la hélice de la destrucción. Cuando el viento alcanza una cierta fuerza un operador detiene el rotor con ayuda de un freno, poniéndolo paralelo al viento (en bandera) o modificando el ángulo de calaje de las palas para obtener un par motor nulo (el sistema más eficaz).

Sistema de frenado automático

Los dos medios citados pueden automatizarse mediante la acción del viento sobre una "pala" de mando.

La pala anexa esta paralela y es solidaria al plano de rotación de la hélice. Cuando la presión del viento sobre la pala alcanza un cierto valor, acciona mecánicamente una leva para poner en bandera al rotor o frenar el eje de giro (la presión del viento es proporcional al cuadrado de la velocidad V y a la superficie de las palas S ; $P = kSV^2$; $k = 0.9$)

4.3 ELEMENTOS QUE PERMITEN LA UTILIZACION DE LA ENERGIA EOLICA

4.3.1 el generador eléctrico y el multiplicador.

El Generador Eléctrico.

El aeromotor puede accionar ya sea directamente o a través de un multiplicador, dos tipos de generadores eléctricos:

- Generador de corriente continua (dínamo)
- Generador síncrono de corriente alterna (alternador).

que transforman la energía mecánica en energía eléctrica, teniendo en cuenta las pérdidas propias en el generador.

4.3.2 Generador de Corriente Continua. (dínamo)

La máquina esta formada por dos partes bien diferenciadas:

- El circuito magnético (bobina de inducción) que crea un campo en el entrehierro, y que recibe el nombre de inductor.
- El bobinado de inducido en el que se recupera la energía eléctrica producida por la rotación del rotor accionado por el motor.

para recuperar esta energía, el inducido va provisto de un colector. El colector de la dínamo simplificada, consta de dos sectores aislados de 180 grados.

Dos escobillas, situadas una frente a otra, se ponen en contacto sucesivamente con el sector A y después con el B, lo que permite que la corriente circule siempre en el mismo sentido de la utilización. En realidad, el colector consta de un gran número de sectores, que corresponden a otros tantos conductores. Pero su papel es el mismo: hacer circular una corriente de igual sentido por todos los conductores de un mismo polo.

Si se considera que ese flujo producido por la bobina de excitación es constante (máquina compensada), la corriente proporcionada es proporcional a la velocidad de rotación. La relación entre la tensión en bornes de la máquina y la corriente es $u = E - Ri$, donde

- E es la fuerza electromotriz de la dínamo.

- R es la resistencia de inducido.
- i es la corriente suministrada a la carga.

4.3.3 Generador síncrono de corriente alterna.

La máquina consta de dos partes:

- La bobina de excitación que crea el campo magnético en el cual el entrehierro es móvil, es el rotor accionado por el aeromotor. Puede ser de dos tipos:
 - a) Rotor bobinado alimentados por dos colectores continuos en los que la corriente circula siempre en el mismo sentido.
 - b) Rotor de imanes permanentes, con lo que se suprimen escobillas y colectores, que pueden ser causas de averías.
- El inducido, en el que se recupera la energía, solidario a la carcasa, y conectado a la utilización. Es el estator, y puede ser monofásico o trifásico. El trifásico permite obtener una tensión alterna casi sinusoidal y, por tanto, mejor rendimiento.

4.3.4 Ventajas e inconvenientes

El principal inconveniente de la dinamo es la presencia de escobillas y colectores, que requieren un mantenimiento periódico. Por otra parte, la dinamo es mas pesada y cara que un generador de corriente alterna.

Pero no necesita ningún dispositivo complicado para la carga de baterías.

Un simple diodo que soporte la intensidad nominal de la dinamo, será suficiente para evitar que la batería pueda ser cortocircuitada por el inducido, cuando este parado.

El alternador, principalmente del tipo de rotor de imanes permanentes, presenta muchas ventajas. Su mantenimiento es nulo debido a la total ausencia de piezas de rozamiento. para una misma potencia es mas ligero y económico.

4.3.5 El multiplicador.

El empleo de alternador obliga a utilizar un multiplicador.

Efectivamente, los rotores de diámetro superior a los 5 metros, tienen velocidades de rotación demasiado bajas (menor de 200 r.p.m.) para poder accionar directamente un alternador clásico. por tanto, para estas máquinas, es imprescindible intercalar un multiplicador entre el aeromotor y el generador.

Hay tres tipos de multiplicador que pueden utilizarse con los aeromotores:

- El más sencillo es el multiplicador de engranajes, de uno o varios ejes de ruedas dentadas cilíndricas. Es económico, pero de construcción embarazosa para conseguir relaciones de multiplicación elevada.
- El empleo de trenes planetarios permite obtener multiplicaciones elevadas en un espacio reducido. La repartición de pares y esfuerzos entre varios satélites, así como la disposición coaxial de los ejes de entrada y salida facilitan una construcción compacta y relativamente ligera.
- El reductor de acoplamiento cónico, permite disponer el eje de salida perpendicular al de entrada.

En todos los casos, las dientes helicoidales aseguran un mejor rendimiento y también un funcionamiento más silencioso.

4.4 RECUPERACION DE LA ENERGIA EN EL SOPORTE FIJO

4.4.1 Máquinas sin multiplicador

El multiplicador eléctrico está siempre colocado en la parte móvil de la máquina. La energía eléctrica se transmite al soporte fijo mediante un conjunto de colectores y escobillas, generalmente sobredimensionados para evitar pérdidas inútiles por resistencia en los contactos demasiados elevados.

4.4.2 Maquina con multiplicador

En este caso puede estudiarse la solución del multiplicador colocado en la base, sobre todo para la recuperación de la energía mecánica. El multiplicador tiene entonces dos ejes perpendiculares, el eje horizontal y el vertical.

4.5 PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFERICAS

Los aerogeneradores se colocan generalmente en puntos elevados, y además deben ser más altos que los obstáculos de sus alrededores. Por tanto, frecuentemente constituyen los puntos de descarga de electricidad estática durante las tormentas.

Aunque por propia construcción, el generador esté protegido contra las descargas eléctricas, por estar cerrado en una estructura metálica conectada a tierra (caja de Faraday), la instalación a la que esta conectada puede ser destruida por las sobretensiones que se propagan por el cable eléctrico de alimentación colocado entre el aerogenerador y la utilización. El generador eléctrico puede ser dañado por contracorriente, en caso de que la utilización quede en cortocircuito.

Por tanto, para emplazamientos expuestos a posibles descargas atmosféricas, es indispensable:

- a) Conectar la torre soporte a una buena toma de tierra (inferior o igual a 3 ohm).
- b) Colocar disyuntores de gas en el punto de conexión de la utilización, con los cables eléctricos del aerogenerador. La tensión de cebado de los disyuntores debe ser aproximadamente el doble de la tensión máxima del generador eléctrico:

-dínamo: tensión en vacío $\cdot 2$.

-alternador: tensión eficaz en vacío $\cdot 2$.

4.6 SOPORTES PARA AEROGENERADORES

Los aeromotores de pequeña y mediana potencia, pueden estar colocados en dos tipos de soporte:

1.- soporte autoportantes:

- Estructura metálica.
- Tubulares.
- De hormigón.

2.- Soportes atirantados:

- Estructura metálica.
- Tubulares.

4.6.1 Los Soportes Autoportantes

Las torres soportes de estructura metálica, parecidas a las utilizadas para el transporte de la energía eléctrica son muy resistentes, pero caras y de montajes largo. No es recomendable utilizarlas cuando el aeromotor gira de espaldas al viento, es decir con el rotor detrás de la torre, ya que crean muchas turbulencias. Para facilitar el mantenimiento del aeromotor hay que colocar una plataforma de servicio a una altura adecuada.

Los soportes de hormigón, más económicos, crean menos turbulencias que los de estructura metálica no carenados. Su montaje es largo y además no son utilizables en caso de trasladar o suprimir el aeromotor. El mantenimiento del aeromotor debe hacerse también sobre la torre soporte, y por tanto con mas dificultad que en el suelo.

Las torres tubulares autoportantes pueden utilizarse cuando lo permita el tamaño de la máquina (masa menor de 1000 kg.) y sea imposible utilizar un soporte atirantado a causa del relieve del terreno.

Estos soportes autoportantes deben estar correctamente calculados, de manera que:

- Resistan el momento debido al empuje en la parte superior, para los vientos mas fuertes.
- Las frecuencias propias estén perfectamente desfasadas de las frecuencias de excitación debidas al aerogenerador.

4.6.2 Soportes Atirantados

Siempre que el terreno lo permita, es aconsejable utilizar un soporte atirantado basculante, que facilite el mantenimiento del aeromotor y del mismo soporte.

Empleando elementos tubulares, muy utilizados en los circuitos de distribución, y las bridas de unión utilizadas, la construcción de un soporte hasta 15 m es simple y menos costoso que el soporte autoportante.

Debe realizarse un atirantamiento con cuatro vientos, inclinados 45 grados, con cable de acero galvanizado, y de forma que el punto de anclaje sobre el soporte sea lo suficientemente bajo para no impedir el giro del rotor. La unión de los cables al suelo, deben hacerse a través de tensores que permitan regular la tensión de cada cable.

Cualquiera que sea el tipo de soporte utilizado, hay que tener en cuenta:

- la protección contra la corrosión;
- la facilidad de montaje y desmontaje de la máquina;
- los riesgos de la formación de hielo.

4.7 DISPOSITIVOS DE ALMACENAMIENTO

4.7.1 Sistema de Almacenamiento Distintos a las Baterías de Acumuladores.

El volante de inercia

La energía producida por el aeromotor se utiliza para hacer girar un volante de inercia, más o menos sofisticado, a una velocidad máxima de 1800 rpm, sobre soportes magnéticos.

En la práctica, la energía almacenada es del orden de 50 a 70 W/kg, con un rendimiento aproximado del 80 %.

Aunque el volante de inercia presenta ventajas: mantenimiento reducido, energía utilizable inmediatamente en varias formas y buen rendimiento, todavía no está al alcance del usuario particular.

Producción de Hidrógeno

La energía eléctrica producida por un aerogenerador puede utilizarse para efectuar directamente la electrólisis del agua y obtener así hidrógeno como gas de combustión en la propia instalación o bien transportándolo al lugar de consumo. El hidrógeno se emplea también en las pilas de combustible.

Almacenamiento Térmico

La energía producida se emplea para calentar el fluido de un depósito, que devolverá la energía almacenada durante los periodos sin viento.

Aire Comprimido

La energía eólica se utiliza en este caso para comprimir aire, este aire puede ser utilizado directamente como carburante en una turbina de gas.

Bombeo Hidráulico

La energía eólica sirve para llenar un depósito de almacenamiento, cuya agua al pasar por una turbina, nos devolverá la energía.

4.8 ACUMULADORES DE PLOMO Y ACUMULADORES ALCALINOS

4.8.1 Acumuladores de Plomo

El tipo de acumuladores de plomo que se utiliza actualmente fue puesto a punto en 1860 por Planté, y desde entonces el funcionamiento sigue siendo el mismo.

Construcción

- El recipiente es de material aislante, vidrio o plástico.
- Las placas están formadas por rejillas de plomo-antimonio en las mallas de las cuales se encuentra la materia activa en forma de pasta.

- El electrolito es una solución de ácido sulfúrico cuya densidad es máxima al final de la carga (30 %) y mínima al final de la descarga (16 %).

Principio fundamental de funcionamiento

Durante la descarga, el ácido sulfúrico del electrodo se descompone:

por una parte, se forma agua y óxido de plomo en el ánodo;

- por otra, en el cátodo, se acumula sulfato de plomo insoluble.

Si la descarga es demasiado profunda, se forma sulfato de plomo incapaz de descomponerse por reacción inversa durante la carga, y las placas negativas se sulfatan (*se vuelven blanquecinas*)

Durante la carga el fenómeno es exactamente el inverso, y cuando está del todo cargado, se llega a la electrólisis del agua con desprendimiento del hidrógeno en el cátodo.

El electrolito participa estrechamente en la reacción.

Una particularidad del acumulador de plomo, es su sensibilidad a las reacciones secundarias: acción del ácido sulfúrico sobre el plomo y el óxido de plomo, corrientes locales ocasionadas por la construcción heterogénea de las placas, sobre todo en las placas positivas en las que la fem debida al contacto plomo-óxido es elevada.

El resultado de todo es la autodescarga y sulfatación progresiva de las placas.

Otra característica del acumulador de plomo es la variación de materia activa a lo largo del ciclo de carga-descarga:

- En la descarga, las placas casi duplican su volumen y por tanto hay riesgo de deformaciones, fisuras, etc.
- Durante la carga, las placas recuperan su volumen inicial, pero entonces se corre el peligro de que la materia activa se desprege en trozos y cree cortocircuito en el acumulador.

4.8.2 Acumuladores Alcalinos

Estos acumuladores se caracterizan por su electrolito, que suelen ser una disolución de potasa de densidad constante, ya que no participa en la reacción, de valor igual a 1200 kg/m^3 .

Estos elementos utilizan en general los pares siguientes: hierro-níquel, cadmio-níquel, plata-zinc.

Los elementos de níquel son por su construcción más robustos y ligeros que los de plomo y su capacidad varía muy poco en función del régimen de descarga. Pero su precio es mucho más elevado que los de plomo, y sus ventajas no justifican su empleo con aerogeneradores. Por otra parte, tienen el inconveniente de necesitar una corriente de carga muy elevada, mientras que en un acumulador de plomo, las corrientes de cargas débiles también contribuyen a cargar la batería o mantenerla cargada.

Por último, las variaciones de tensiones entre carga y descarga son más importantes que en los acumuladores de plomo, $0,6 \text{ V}$ en lugar de $0,3 \text{ V}$ por elemento, excepto para los acumuladores de plata-zinc que tienen una tensión muy estable durante la descarga, pero que son más caros incluso que los de cadmio-níquel o hierro-níquel.

UNIDAD V

EVALUACION ECONOMICA Y RENTABILIDAD DE LA UTILIZACION DE LA ENERGIA EOLICA EN MEXICO

INTRODUCCION

Considerando los esfuerzos que a nivel mundial se están realizando por desarrollar esta tecnología y ponerla a punto para su implantación comercial no podemos permanecer ajenos a esos desarrollos, aún cuando nuestro papel se limite, en un futuro cercano, a evaluar los sistemas disponibles comercialmente y poder realizar, así, una selección adecuada.

5. ASPECTOS ECONOMICOS Y RENTABILIDAD DE LA ENERGIA EOLICA.

5.1 CONSIDERACIONES GENERALES.

La rentabilidad de las grandes plantas eólicas constituye un factor determinante a la hora de considerar sus posibilidades de desarrollo. Aunque por el momento se puede adelantar algunas conclusiones importantes, en base, a los estudios y realizaciones experimentales pasados, todavía es pronto para aventurar cifras consistentes sobre los costes reales de este tipo de energía.

El primer problema que surge al evaluar la rentabilidad de los aerogeneradores es la definición de criterio comparativo. Dada la irregularidad del suministro de energía que caracteriza a estas plantas y su escasa capacidad para adaptarse a las fluctuaciones de la demanda, acompañada por su bajo nivel de potencia, en comparación de otro tipo de centrales eléctricas, parece inevitable, por el momento, que estas instalaciones deban funcionar en combinación con otras plantas generadoras convencionales, más flexibles. Este aspecto negativo de las aeroturbinas ha sido la causa de que los criterios económicos de evaluación hayan sido, generalmente, considerar su rentabilidad en función del combustible que ahorran, sin tener en cuenta sus posibilidades de sustitución de otras instalaciones generadoras. El término "capacity credit", que tan a menudo parece en la documentación técnica, hace referencia al ahorro en coste de instalación e infraestructura de las plantas sustituidas y es, en general, considerando nulo en lo que se refiere a las turbinas. Este planteamiento probablemente puede alterarse con la instalación de granjas de aeroturbinas que permitan incrementar la potencia global de las plantas.

El segundo punto de interés es la cantidad real de energía que, por término medio, se puede obtener en un sistema eólico determinado. La producción media anual depende, en primer lugar, de la potencia nominal de las instalaciones y del tiempo de funcionamiento, es decir, del tiempo en que no esté desconectada por averías, mantenimiento, vientos demasiados fuertes, etc. Todos estos factores se pueden reunir en un coeficiente global de utilización. La velocidad media del emplazamiento elegido será el otro parámetro decisivo para determinar el nivel medio de producción de energía.

5.2 EVOLUCIÓN DE LOS COSTES DE INSTALACIÓN EN PLANTAS EÓLICAS DE GRAN POTENCIA.

El tamaño de la planta es determinante del nivel de producción energético, y por tanto de los coste unitarios de la instalación, es decir, del coste de cada kilowatio instalado. La evolución de los costes unitarios sigue la ley de las economías de escala. Para bajas potencias predomina la importancia relativa de los costes fijos, que no depende de la potencia instalada, y los costes unitarios son elevados. A medida que las potencias son mayores la aportación de los costes fijos va disminuyendo, y con ella el coste de los kilowatios. La tendencia se mantiene hasta alcanzar un valor mínimo que define el tamaño óptimo del sistema.

A partir de ese valor, los costos unitarios vuelven a subir a causa de las dificultades técnicas que se crean por el excesivo tamaño de los elementos de la máquina.

Sin embargo, se puede adelantar que las dificultades técnicas que presentan las máquinas eólicas por encima de los 4-5 MW de potencia, incrementan os costes considerables.

Otra conclusión importante es la desventaja comparativa desde el punto de vista económico, que presentan las aeroturbinas Darrieus cuando se intenta conseguir plantas de elevada potencia.

El costo de una pala se incrementa al principio rápidamente en función de la longitud, estabilizándose a partir de los 50 m. los elementos estructurales se comportan de forma parecida, mientras que el sistema eléctrico lo hace al contrario, incrementando mucho sus costes para elevadas potencias. Los mecanismos y sistemas de regulación tienen una tendencia de crecimiento de sus costes de tipo lineal.

5.3 EL COSTO DE LA ENERGÍA EÓLICA.

**ESTA TESTA NO DEBE
QUEDAR DE LA BIBLIOTECA**

El coste de cada kilowatio-hora obtenido mediante un sistema eólico depende: del coste de la instalación que debe amortizarse a lo largo de la vida de la planta; del coste de mantenimiento; y de la energía producida, que depende en gran medida de la velocidad media en el emplazamiento.

La evaluación del coste de la energía habrá pues que realizarla en base, a estudios meteorológicos, que nos permitan conocer la velocidad media en el emplazamiento, y una estimación aproximada sobre el factor de utilización de la planta y otra sobre la vida media de funcionamiento. Con los dos primeros datos se determina la producción anual de energía, y con el tercero, el coste de amortización anual de la instalación.

Algunas compañías coinciden, aunque con valores diferentes, en que la velocidad media del emplazamiento es el factor más importante en la determinación del coste de energía.

Ambos informes cubrieron en su estudio una gama de velocidades medias entre 3,6 y 10,7 m-s, encontrando que la velocidad media óptima para la planta de 500 kW era de 5,4 m-s, para la de 1500 kW de 8 m-s, sin que el nivel de potencia resultase demasiado crítico desde el punto de vista de los costos, es decir, dado un emplazamiento con una velocidad media determinada, y una planta eólica optimizada para esa velocidad, se puede suponer que el coste de la energía obtenida es bastante inflexible a las diferentes potencias nominales posibles del sistema.

El factor de utilización se refiere al porcentaje de tiempo en que la aeroturbina funciona en condiciones normales de operación, teniendo en cuenta períodos de mantenimiento, posibles averías y tiempos de desconexiones de la máquina a causa de vientos inferiores a la velocidad de arranque o demasiado intensos, superiores a la velocidad de desconexión. Por regla general, se suele considerar el factor de utilización del orden de 90 por 100, a pesar de que la experiencia en este campo todavía no es muy abundante.

El mantenimiento de estas máquinas no presenta problemas especiales. Los planes de mantenimientos de las plantas que actualmente están funcionando se limitan a una revisión de rutina cada 30 días, otra anual mas a fondo con reposición de determinados componentes, y

finalmente una revisión profunda cada 10 años, con comprobación detallada de todos los elementos mecánicos y en particular de los estructurales.

No resulta sencillo, con la experiencia actual, determinar el número de años de operación previsible de un aerogenerador y, sin embargo, es un parámetro condicionante del coste de la energía obtenida.

Los estudios realizados en los EE.UU. han utilizado como cifra de cálculo una vida media de 30 años, determinada por el tiempo previsible de operación de los elementos dinámicos. Los elementos estáticos podrían perdurar 20 años más.

A partir de la producción media de energía anual del sistema eólico, podemos obtener el flujo de ingreso monetario a lo largo de la vida de la planta y restando para cada período la amortización del capital invertido obtendremos el beneficio neto anual generado por la planta en términos monetarios. La suma de tales beneficios dividida por el capital invertido nos dará la rentabilidad.

Los valores estimados del coste de kilowatio-hora, en base, a los estudios realizados sobre las plantas eólicas actualmente en operación, varía en distintos países en función de las distintas hipótesis de cálculo utilizadas. Sin embargo, se puede adelantar que en todos ellos los costes resultan de un orden de magnitud comparativo a lo largo de otras energías convencionales.

5.4 RENTABILIDAD DE LAS PEQUEÑAS AEROTURBINAS.

El coste inicial de la instalación no resulta fácil de determinar dada la variedad de factores que intervienen en su evaluación, en particular el volumen de fabricación es el que más puede afectar al precio final de la máquina.

Desde el punto de vista económico, el elemento crítico de los aerogeneradores de baja potencia es el sistema de almacenamiento, que puede suponer un incremento de 30 al 50 por 100 sobre el coste total de la máquina.

El precio de la energía obtenida con estos sistemas eólicos es, sin duda, superior al precio de la que se obtiene en las plantas industriales, ya sean eólicas o convencionales. A pesar de

la dificultad que supone estimar el precio del kilowatio-hora obtenido de un aerogenerador de baja potencia, las estimaciones realizadas permiten.

Sin embargo, la rentabilidad de las pequeñas máquinas pueden resultar positiva si tenemos en cuenta su ámbito de aplicación, generalmente abastecido con grupos electrógenos, o donde el coste de la energía suministrada por la red es muy superior al coste que se obtiene en los grandes centros de consumo, una vez que se imputan los gastos de instalación de la línea.

Teniendo en cuenta que el coste de electrificación rural son gastos sociales, que recaen habitualmente sobre el sector público, y que toda medida que de alguna forma suponga una disminución en el consumo de combustibles redonda en el interés nacional, el impulso y desarrollo de una industria de pequeñas máquinas eólicas han constituido un objetivo preferente en los planes eólicos de algunos países.

CONCLUSIONES:

En la actualidad, la única forma con la que contamos para generar energía eléctrica a nivel industrial, es la tradicional, la de hacer girar a un rotor con bobinas e imanes dentro del estator.

Entre las tecnologías para la generación, la energía eléctrica mediante vapor, hasta el momento, le forma más económica es quemando gas, petróleo o carbón. Sin embargo, en un futuro cercano se harán presentes los problemas que en este momento no son muy notorios, como el que los recursos naturales se terminen, y que su combustión produce bióxido de carbono, que genera el efecto invernadero de la atmósfera.

En la gran búsqueda del combustible para la generación de la energía eléctrica de una manera económica y además no contaminante, se tiene como alternativa la generación eólica; el factor económico depende básicamente de dos aspectos fundamentales: la localización del lugar, es decir, lo alejado que éste se encuentre de lugares electrificados y las condiciones climatológicas. Sin dejar de considerar las condiciones de diseño y el tiempo de vida útil.

Haciendo una comparación de la utilización hasta el momento de la generación eólica con las de otro tipo, ésta se encuentra muy por debajo de las comerciales. Desde mi punto de vista, considero que hay que aprovechar las condiciones privilegiadas con las que cuenta nuestro país, para darle mayor auge a la generación eólica en este momento; sin esperar a que se presente la problemática antes mencionada.

BIBLIOGRAFIA

“EL SECTOR ELÉCTRICO DE MEXICO”

C.F.E

“LAS FUENTES DE LA ENERGIA”

C.F.E

MEXICO D.F 1996

“LA ENERGIA EOLICA. TECNOLOGIA E HISTORIA”

CADIZ JUAN CARLOS

EDIT. HERMAN BLUME.

“ENERGIA EOLICA. TEORIA, CONCEPCION Y CALCULO PRACTICO DE LAS
INSTALACIONES”.

LE GOURIERES DESIVE

EDIT. MASSON.

“EVALUACION PRELIMINAR DEL POTENCIAL ENERGETICO EOLICO EN LA ZONA
DE LA VENTOSA OAXACA”

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS

AGOSTO DE 1981

REVISTA “INGENIERIA CIVIL”

NOV. 1995

REVISTA “INGENIERIA CIVIL”

MAYO A995

“AEROMOTORES Y AEROGENERADORES. GUIA DE LA ENERGIA EOLICA”

GUY CUNTY

EDIT. EDISUD