



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ

INGENIERIA ELECTRICA

REPORTE DE RESIDENCIA/TESIS

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AEROGENERADOR TIPO SAVONIUS

ASESOR

JORGE DIAZ HERNANDEZ

ALUMNOS

**GONZALEZ GARCIA VICTOR HUGO
GORDILLO MAURICIO NESTOR GUILLERMO**

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS, 14 DE ENERO 2015

Índice	Pág.
1. Introducción.....	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Estado del arte	4
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivo	6
1.5 Metodología	6
2. Fundamento Teórico	7
2.1 El recurso eólico.....	7
2.2 Medición del viento	9
2.3 Variación de la velocidad del viento con la altura.....	11
2.4 Variación de la velocidad del viento con la orografía del terreno.....	12
2.5 Variación de la velocidad del viento con la existencia de obstáculos	12
2.6 Descripción de las máquinas eólicas de baja potencia	14
2.7 Clasificación de las máquinas eólicas	15
2.8 Conversión de la energía eólica en energía eléctrica.....	23
2.9 Regiones con gran potencial eólico en México.....	25
3. Desarrollo	26
3.1 Diseño del modelo	26
3.3 Diseño del nuevo rotor	28
3.4 Innovación del equipo	29
3.5 Relación de velocidades.....	31
3.6 Diseño de la estructura del rotor	36
3.7 MANUAL PASO A PASO DE ARMADO DEL AEROGENERADOR TIPO SAVONIUS	37
3.8 Mantenimiento	43
3.9 Estado financiero	43
3.10 Ventajas Y Desventajas.	44
CONCLUSION	45
5. Referencias	47

1. Introducción

1.1 Antecedentes

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

La referencia mas antigua que se tiene es un molino de viento que fue usado para hacer funcionar un órgano en el siglo I era común. Los primeros molinos de uso práctico fueron construidos en Sistan, Afganistán, en el siglo VII. Estos fueron molinos de eje vertical con hojas rectangulares. Aparatos hechos de 6 a 8 velas de molino cubiertos con telas fueron usados para moler cereales o extraer agua.

En Europa los primeros molinos aparecieron en el siglo XII en Francia e Inglaterra y se distribuyeron por todo el continente. Eran unas estructuras de madera, conocidas como torres de molino, que se hacían girar a mano alrededor de un poste central para levantar sus aspas al viento. El molino de torre se desarrolló en Francia a lo largo del siglo XIV. Consistía en una torre de piedra coronada por una estructura rotativa de madera que soportaba el eje del molino y la maquinaria superior del mismo.

Estos primeros ejemplares tenían una serie de características comunes. De la parte superior del molino sobresalía un eje horizontal. De este eje partían de cuatro a ocho aspas, con una longitud entre 3 y 9 metros. Las vigas de madera se cubrían con telas o planchas de madera. La energía generada por el giro del eje se transmitía, a través de un sistema de engranajes, a la maquinaria del molino emplazada en la base de la estructura.

El hombre ha aprovechado la energía del viento, "energía eólica" que está ahora muy de moda. Esta energía se ha aprovechado para muy diversas aplicaciones: para molinos de cereales, mover barcos, sacar agua de pozos, aventar el grano y más modernamente para la producción de energía eléctrica. Esta última aplicación es particularmente útil pues la generación de electricidad se hace a veces muy necesaria en lugares donde no llega la electricidad distribuida por las compañías eléctricas.

Es interesante poseer electricidad sin tener que pagar facturas a nadie por ello, al menos mientras el uso del aire sea gratis- que no sabemos hasta cuando lo será, o que haya que pedir permiso para usarlo como es el uso del espacio radio-eléctrico o de las aguas publicas

La energía es un elemento muy importante para el desarrollo de la humanidad. Inicialmente el ser humano utilizaba formas de energía convencionales. Con el tiempo las fuentes de energía evolucionaron y a partir de procesos de conversión se pudo generar vapor, energía mecánica y electricidad. Las fuentes de energía más utilizadas a lo largo de la historia han sido el carbón, el petróleo, la energía nuclear o el gas natural. En la actualidad, las energías renovables (solar, hidráulica, eólica,...) tienen también un papel muy importante.

El acceso a la energía está totalmente relacionado con la pobreza. Las personas que no tienen acceso a ésta suelen ser familias rurales pobres que viven en comunidades pequeñas y dispersas con pocas posibilidades. éstos pagan más por menos unidades de energía, siendo ésta además de menor calidad (el 11% de la electricidad que consumen representa el 78% de sus gastos).

Aunque la mayoría de los aerogeneradores en el mercado son de eje horizontal y tripala, se tienen algunas experiencias con las máquinas de eje vertical, lo que motiva su consideración en el proyecto, dentro del abanico de opciones.

1.2 Estado del arte

Phi Tran en California, EE.UU..[1] Neutraliza la turbulencia por sus sistema de palas móviles. 10 kW. Para utilizarse en ambientes urbanos. Esta máquina genera en múltiples potencias, hablando de costos de 2.5 centavos de US\$ por kWh a 7 m/s. Puede trabajar inclusive a velocidades del orden de los 55 m/s y soportar sismos importantes.

Empresa PacWind de EE.UU.,[2] incluye también la máquina de 7.5 kW Aeolian, para vientos moderados y aplicaciones urbanas y remotas para carga de baterías. Puede adicionarse de energía solar FV.

Empresa china IR WindPower,[3] presenta este modelo con potencia instalada ya sea de 1, 3, 5 o 10 kW. Presenta un modelo a gran escala para generar 10 MW en un solo dispositivo. Sí posee un sistema de orientación tipo veleta y un concentrador a base de deflectores de viento.

Empresa coreana KR WindPower.[4] tiene esta máquina disponible en potencias instaladas de 10, 100, 750 o 2000 kW, con mamparas deflectoras y concentradoras del viento. Con un sistema doble de veletas concentradoras de viento, una de entrada, la cual minimiza el efecto de torque negativo en la generación y acelerando el viento entrante, y la otra lateral, recupera energía colectando corrientes de viento a las aspas del rotor nuevamente, que de otra

manera no se aprovecharían. Reportan un aumento sustancial de la eficiencia de la máquina en 60% por el uso de ambas veletas.

Priest-Brown y JimRowan,[5] cuyo diseño resuelve diversos problemas en la generación de las máquinas de eje vertical Con un alternador de flujo axial magnéticamente levitado, inventado en Canadá por Thomas. Con sede en Texas (EE.UU.). 1.1 kW

Antesana J, 2004.[6] Diseño y Construcción de un Prototipo de Generador Eólico de Eje Vertical, memoria para optar el título de ingeniero civil electricista, universidad de Chile, Santiago de Chile.

CER-UNI, 2006.[7] evaluación del potencial de las fuentes de energía renovable en el Perú, Lima.

1.3 Justificación

Desde hace muchos años, se ha visto como hay una importante relación entre el acceso y uso de las formas modernas de energía y el desarrollo humano. Así, se ha comprobado que una de las consecuencias de la situación actual sobre la falta de acceso a la energía será la imposibilidad de cumplir los Objetivos de Desarrollo, es decir, sin acceso a la energía será imposible conseguir el total desarrollo de la humanidad en los lugares sin una red de energía eléctrica.

Todo esto es debido a que sin acceso a formas de energía moderna no es posible conseguir avances en salud, educación, acceso a agua, vivienda, temas de género,... Así, se ha investigado por ejemplo que aunque las muertes por sida, malaria y tuberculosis van a ir disminuyendo, el número de muertes que habrá como consecuencia de inhalación de humos en las viviendas será mayor que las muertes provocadas por estas tres enfermedades juntas.

Debido a la creciente mundial de energéticos, es necesario buscar alternativas de generación de los mismos. A pesar de que México cuenta con recursos eólicos; la mayoría de las viviendas no tienen sistemas de generación de electricidad. La energía eólica, es una opción ambientalmente responsable, que nos permite mantener los parámetros energéticos y de confort modernos. La energía eólica es una opción económicamente viable ya que tiene un corto periodo de retorno de inversión.

Las viviendas modernas representan un sector que demanda diariamente energía que no comprometa los recursos naturales de las siguientes generaciones. El diseño de un generador que cubra parcialmente el requerimiento energético surge como un proyecto interesante para disminuir el consumo de electricidad y brindarle a zonas marginadas electricidad y reducir las emisiones de efecto invernadero.

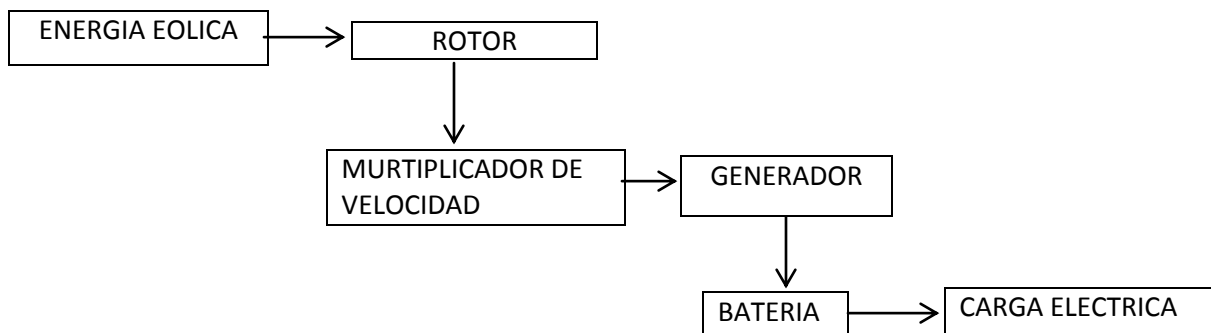
La energía de tipo eólica ha dado muy buenos resultados en países desarrollados; este no es el caso de México debido a que el aprovechamiento de ese recurso tan disponible e inagotable como es el viento no ha sido difundido de una manera significativa; pero, la construcción de un aerogenerador casero es sencilla y barata con su consecuente aprovechamiento económico.

Mediante este trabajo se busca el proponer una posibilidad de obtener electricidad casera, vale decir a mediana escala, para poblaciones rurales alejadas del cableado eléctrico. El presente proyecto se justifica principalmente si es instalado en ciudades con recurso eólico, como en ciudades costeras o en ciudades con posiciones geográficas que permitan condiciones de viento de 7m/s.

1.4 Objetivo

Diseñar un generador eólico como una alternativa de generación con fuentes convencionales para cubrir necesidades de uso doméstico en zonas de bajo desarrollo económico y social incluso para zonas urbanas que deseen un medio limpio y relativamente sencillo de abastecimiento de energía eléctrica.

1.5 Metodología



2. Fundamento Teórico

2.1 El recurso eólico

El recurso para la generación de energía eólica es el viento, el cual es generado por corrientes de aire debido al desigual calentamiento de la superficie de la tierra. Así, la no uniformidad del flujo de radiación solar incidente hace que unas zonas se calienten más que otras, provocando movimientos convectivos de la masa atmosférica. El aire caliente asciende, arrastrando aire más frío proveniente de una región vecina. Al subir se enfría, por lo que aumenta su densidad, descendiendo para volver a repetir el ciclo. Así, el viento es una masa de aire en movimiento, y como tal, contiene una cierta energía cinética.

El fenómeno real es más complejo, ya que la Tierra se mueve sobre su eje. Además, hay una distribución aleatoria de las nubes sobre la superficie y la inercia térmica de los océanos es distinta a la de los continentes, lo que crea gradientes variables con el día y la noche.

Aprovechamiento del viento

La energía del viento se origina por la energía radiante proveniente del sol, la cual se convierte en energía térmica al ser absorbida por la superficie terrestre. En cada uno de los pasos de conversión hay una serie de pérdidas, por lo que solamente un pequeño porcentaje del total de energía absorbida por la superficie terrestre se convierte en viento.

A parte de estas pérdidas, también hay que tener en cuenta que del viento no se puede extraer toda la energía. En apartados posteriores se explicará la Ley de Betz, en la cual se concluye que solamente puede extraerse el 56% de la energía del viento.

Velocidad del viento

A pesar de las muchas ventajas que tiene la energía eólica (no agresiva con el medio ambiente, inagotable,...), hay que tener en cuenta que tiene el inconveniente de que el viento es disperso y aleatorio. El gradiente de velocidades es mayor cuanto mayor es la diferencia de presiones y su movimiento está influenciado por el giro de la Tierra.

La velocidad del viento es una magnitud vectorial y ésta varía de forma aleatoria tanto en módulo como en dirección y sentido. Los valores medios suelen encontrarse entre

3 y 7 m/s. Sin embargo, dependiendo de la altitud y la topografía éstos pueden ser mayores o menores (valores mayores en altas montañas, valles estrechos y costas).

Para visualizar de forma más clara de donde proviene el viento se utiliza la rosa de los vientos. Para elaborarla se divide el horizonte circular de 360° en 8, 10, 12 o 16 divisiones, teniendo en cuenta los cuatro puntos cardinales (Este=90°, Sur=180°,

Oeste=270° y Norte=360°) y se dibuja la dirección de donde proviene el viento. De esta forma se consigue determinar la dirección dominante de los vientos, que por lo general no coincide con la intensidad del viento, ya que en muchos casos los vientos más intensos no son los que soplan más horas al año procedentes de una determinada dirección.

La velocidad del viento puede variar de muy diversas maneras.

- *Variaciones estacionales:* los vientos globales sufren estas variaciones debido a la posición de anticiclones (zona atmosférica de alta presión) y borrascas (zona atmosférica de baja presión). Así, hay variaciones cíclicas del viento en función, por ejemplo, de las estaciones.
- *Variaciones diarias:* éstas son debidas a los efectos del calentamiento o enfriamiento diurno o nocturno, a la proximidad del mar,...
- *Variaciones en periodos muy cortos (ráfagas):* se pueden encontrar ráfagas medias, fuertes y violentas dependiendo del valor de viento medio (entre 5 y 20m/s). También se diferencian las ráfagas por la duración de ésta (pueden llegar a durar incluso 10 minutos).

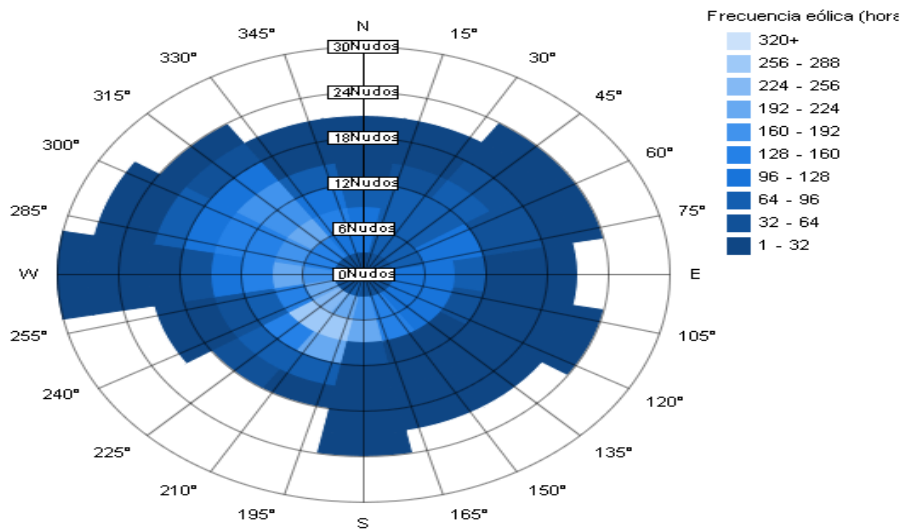


Fig. 2.1 Rosa de los vientos.

2.2 Medición del viento

Para realizar una correcta medición del viento, se debe medir tanto su velocidad como su dirección. Por ello, serán necesarios un anemómetro y una veleta respectivamente.

Además, hay que tener en cuenta que datos obtenidos durante una campaña de medición de un año son poco representativos, dada la variabilidad del viento. Para que los datos sean representativos, la información eólica debe ser de periodos entre 25 y 30 años, aunque si esto no es posible los datos recogidos entre 5 y 10 años ya comienzan a ser bastante representativos.

Medida de la velocidad: anemómetro.-Los anemómetros son instrumentos para medir la velocidad del viento. Éstos miden la velocidad instantánea del viento, sin embargo, las ráfagas de viento desvirtúan la medida que recogen si lo que se quiere es tener una idea de velocidades medias. Por ello, para conocer velocidades medias lo mejor es realizar diferentes mediciones en intervalos de unos 10 minutos y tomar como medida válida el valor medio de todas las mediciones llevadas a cabo.

Hay diferentes tipos de anemómetros:

- *Anemómetro de rotación:* dispone de cazoletas o hélices unidas al eje central, cuyo giro es proporcional a la velocidad del viento y se queda registrado. En el caso de los anemómetros magnéticos, este giro activa un diminuto generador eléctrico para dar una medida mucho más precisa.

- *Anemómetro de compresión:* se basa en el tubo de Pitot y está formado por dos pequeños tubos. Uno de ellos cuenta con un orificio frontal (que mide la presión dinámica) y otro lateral (que mide la presión estática). El otro tubo sólo cuenta con un orificio lateral. La diferencia entre las presiones medidas permite determinar la velocidad del viento.

En el caso de los aerogeneradores de baja potencia, los anemómetros suelen ser montados sobre éstos para determinar si sopla el viento suficiente como para poner el aerogenerador en marcha. Por ello, dichos anemómetros no necesitan tener una gran precisión y suelen resultar bastante baratos. Sin embargo, en lo que a la industria eólica se refiere, sí son necesarios anemómetros mucho más precisos y bien calibrados. Por lo que éstos ya no resultan tan baratos.

Medida de la dirección: veleta.-Para la medición de la dirección del viento se utiliza la veleta, la cual suele colocarse próxima al anemómetro, todo en la misma torre. Como ocurría con la velocidad, la dirección sufre muchas fluctuaciones, por lo que el sistema tiene que ser capaz de determinar una dirección media. Para ello, suelen hacerse lo mismo que en el caso de la velocidad, se promedian valores instantáneos de dirección de la velocidad que se toman aproximadamente cada 10 minutos.



Fig. 2.2 *Veleta.*

Ubicación del sistema de medida.-El conjunto de anemómetro y veleta se coloca en un mástil a una altura estándar que suele ser 10 metros (2 o 3 metros en el caso de estaciones móviles), para evitar perturbaciones del propio suelo. La torre del mástil suele ser un poste cilíndrico delgado y tensado por cables o vientos para evitar el apantallamiento de la torre.

Además, el lugar debe estar despejado para que los objetos no perturben las mediciones realizadas, ya que normalmente un objeto de altura h perturba el flujo de aire una distancia $2h$ si está a barlovento y entre $10h$ y $20h$ si está a sotavento. Además, en vertical la perturbación puede llegar a alcanzar una altura de $2h$. Así, lo ideal es colocar los sensores en lugares cuyo horizonte no presente obstáculos en un radio de unos 300 metros, ya que edificios, bosques o irregularidades en el terreno pueden llegar a provocar distorsiones importantes en la toma de medidas. En el caso de aerogeneradores de gran potencia, anemómetro y veleta se colocan a una altura de 50 metros, que es la altura a la que se encuentra el eje del generador. De esta forma las medidas tomadas serán mucho más fiables.

Escala Beaufort.-En casos especiales en los que no se dispone del instrumento de medida para la velocidad del viento, se lleva a cabo una estimación de la misma observando los efectos que éste tiene en cuanto a humo, vegetación, superficie del mar,...

La escala que se utiliza en este caso se denomina escala de Beaufort, la cual tiene un origen marino y se utiliza desde el año 1848

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

Fig.2.2.1 Escala Beaufort para intensidades de viento.

2.3 Variación de la velocidad del viento con la altura

La velocidad del viento varía con la altura debido principalmente a las turbulencias tanto de origen mecánico (causadas por las irregularidades de la superficie del terreno) como de origen térmico (causadas por el gradiente de temperatura del aire que provoca corrientes convectivas en sentido vertical).

Como en general la influencia del gradiente de temperatura del aire en una diferencia de altura de 100 metros (diferencia de altura razonable en el caso de los aerogeneradores de gran potencia) es pequeña no se tendrán en cuenta los efectos de las turbulencias térmicas, y solamente se tendrán en cuenta los efectos de las irregularidades de la superficie del terreno.

Conforme nos separamos del terreno, los efectos de rozamiento disminuyen y por lo tanto, la velocidad del viento aumenta. Así, se tiene un gradiente o variación de la velocidad con la altura, y se habla del perfil vertical de la velocidad del viento. La variación de la velocidad del viento con la altura depende de la rugosidad que tenga el terreno. Así, si se tienen superficies lisas (con agua, terrenos llanos, llanuras nevadas,...), el gradiente de velocidad es suave. Sin embargo, si se tienen superficies con gran rugosidad (terrenos con edificaciones urbanas, superficies boscosas,...) el gradiente de velocidad será mayor.

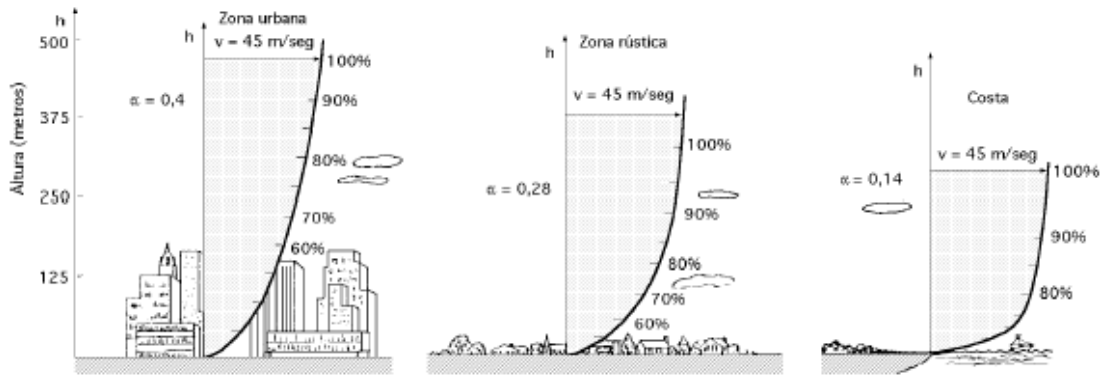


Fig.2.3 *velocidad del viento con la altura.*

2.4 Variación de la velocidad del viento con la orografía del terreno

El relieve del terreno también es otro factor a tener en cuenta en la influencia sobre la velocidad del viento. Las elevaciones de terreno (montañas, colinas, acantilados,...) pueden aumentar la velocidad del viento si tienen pendientes suaves o pueden disminuirla si son con pendientes fuertes o crestas.

Así, para instalar un aerogenerador los lugares más adecuados son las colinas suaves con pendientes escasas de alta vegetación u obstáculos, ya que de esta forma se consigue aumentar la velocidad del viento (aceleración) y también los acantilados o colinas próximas al mar con suaves pendientes.

Sin embargo, los lugares menos adecuados para la instalación de estas máquinas son los acantilados y escarpados con fuertes pendientes, ya que se forman turbulencias que además de reducir la energía que puede producir el aerogenerador, crean esfuerzos mecánicos de fatiga que hacen reducir la vida útil de la máquina.

2.5 Variación de la velocidad del viento con la existencia de obstáculos

Los obstáculos (edificios, árboles, accidentes en el terreno,...) provocan una disminución de la velocidad del viento, así como un aumento de las turbulencias. Por lo que a la hora de instalar grandes centrales eólicas se tendrá que tener en cuenta la presencia de obstáculos en un radio de 1km en la dirección dominante del viento.

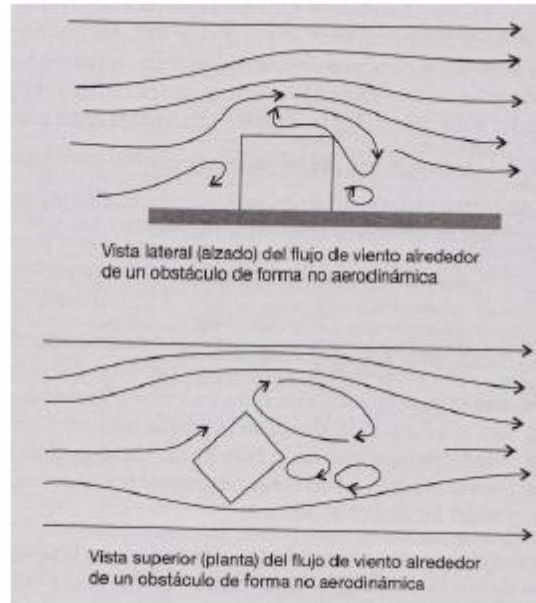


Fig.2.5 Efecto de un obstáculo no aerodinámico sobre el flujo del viento.

La zona de turbulencias es muy variable. Éstas son más acusadas en la parte posterior del obstáculo (sotavento) que en la parte anterior (barlovento). Como se ha comentado con anterioridad a sotavento pueden alcanzar entre 10 y 20 veces la altura del obstáculo y a barlovento solamente puede alcanzar unas 2 veces dicha altura.

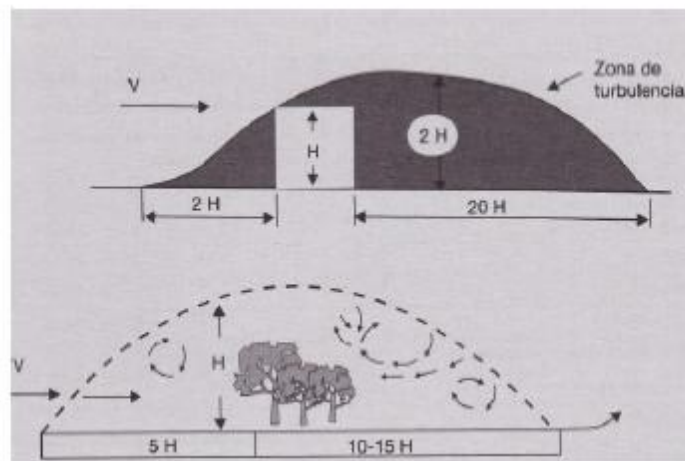


Fig. 2.5.1 Zona de perturbación y turbulencia originada por edificios y arbolado.

La disminución de la velocidad del viento aguas abajo del objeto no depende sólo de su forma y dimensiones, sino que también depende de su porosidad. A mayor porosidad mayor es la distancia que se mantiene la disminución de velocidad de viento aguas abajo del obstáculo. Sin embargo, el nivel de turbulencia es menor en el caso de los objetos porosos.

El hecho de que los obstáculos influyan en la variación de la velocidad del viento hace que en los parques eólicos los aerogeneradores estén distanciados unos de otros entre 5 y 9 veces lo que mide el diámetro de su rotor en la dirección del viento dominante y entre 3 y 5 veces el diámetro en la dirección perpendicular. De esta forma se consigue evitar los efectos de sombra eólica de unos aerogeneradores sobre otros.

2.6 Descripción de las máquinas eólicas de baja potencia

Los aerogeneradores más completos tienen los siguientes componentes:

- *Góndola*: carcasa que protege las partes fundamentales del aerogenerador.
- *Palas del rotor*: transmiten la potencia del viento hacia el buje.
- *Buje*: parte que une las palas del rotor con el eje de baja velocidad.
- *Eje de baja velocidad*: conecta el buje del rotor al multiplicador.
- *Multiplicador*: permite que el eje de alta velocidad gire mucho más rápido que el eje de baja velocidad.
- *Eje de alta velocidad*: gira a gran velocidad, permitiendo el funcionamiento del generador eléctrico.
- *Generador eléctrico*: transforma la energía mecánica en energía eléctrica.
- *Controladores electrónicos*: monitorizan las condiciones de viento y controlan el mecanismo de orientación.
- *Unidad de refrigeración*: mecanismo para enfriar el generador eléctrico.
- *Torre*: parte del generador que soporta la góndola y el rotor.
- *Mecanismo de orientación*: activado por los controladores electrónicos, permite colocar el aerogenerador de tal manera que se obtenga la máxima potencia.

Teorema de Betz.-El Teorema de Betz es de mucha importancia para las máquinas eólicas, se puede decir que es tan importante para las máquinas eólicas como lo es el Teorema de Carnot para las máquinas térmicas. La teoría de Betz, supone que una vena fluida en una corriente no perturbada delante de una turbina eólica posee una velocidad v_1 , y que en el infinito, aguas abajo de la misma, posee una velocidad v_2 .

Vamos a suponer que la energía eólica se puede recuperar y transformar mediante un aerogenerador. La pala se supone inmersa en una corriente de aire de velocidad v que, aguas abajo, posee una velocidad v_2 no nula, lo que asegura que no es posible la transformación y recuperación de toda la energía del viento en otra forma de energía.

Se supondrá que aguas arriba de la pala, el aire que circula por el tubo de corriente, posee una velocidad v_1 en la sección transversal ficticia A1, que es la velocidad del viento sin perturbar, mientras que la velocidad v_2 se corresponde con otra sección transversal ficticia A2 aguas abajo de la zona en que se encuentra la pala. En el plano que contiene la pala, la sección transversal batida por la misma sería un disco imaginario de sección A, siendo v la velocidad útil del viento en la misma.

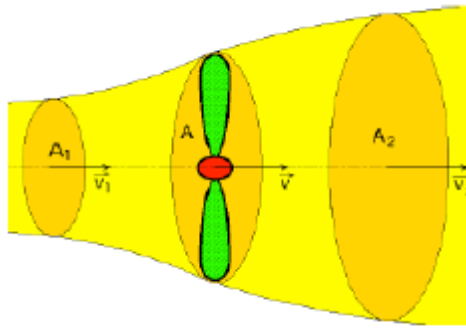


Fig. 2.6 Esquema del movimiento del aire a través de un conducto.

2.7 Clasificación de las máquinas eólicas

La clasificación de las máquinas eólicas puede realizarse atendiendo a los siguientes aspectos:

- Usos.
- Potencias.
- Número de palas.
- Velocidades de trabajo.
- Disposición del eje del rotor.

Esta clasificación de las máquinas eólicas tiene en cuenta el tipo de trabajo que se va a realizar con ella. Este trabajo puede ser bombeo de agua, generación de energía eléctrica, molienda de granos.

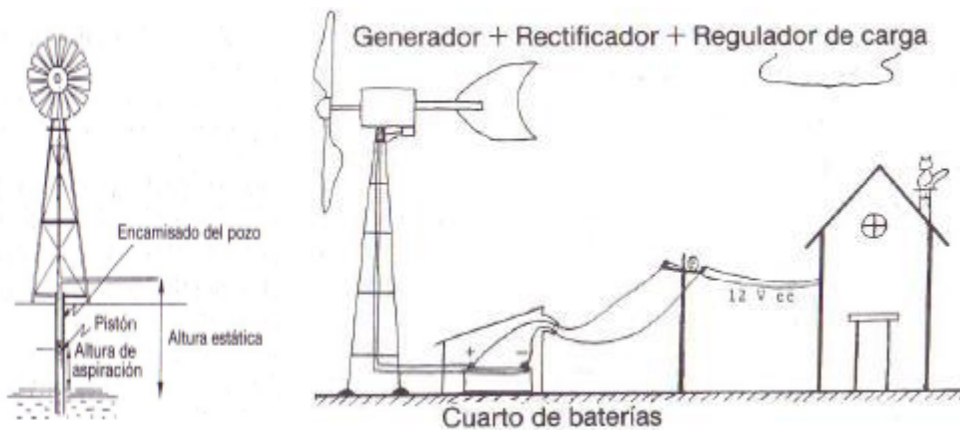


Fig. 2.7 a) Máquina eólica para bombeo de agua de pozo. b) Máquina eólica para generación eléctrica.

La clasificación por potencia nominal divide las máquinas eólicas en los siguientes grupos:

Microturbinas (<3kW).-Suelen ser utilizadas en sistemas aislados para generar electricidad que posteriormente servirá para cargar unas baterías de almacenamiento. El generador eléctrico que normalmente utilizan es de imanes permanentes, y no suelen contar con caja multiplicadora entre el eje del rotor del aerogenerador y el generador eléctrico.

Habitualmente se trata de máquinas de eje horizontal con tres palas y diámetros pequeños (entre 1 y 5 metros) que trabajan a velocidades de rotación elevadas y generalmente variables. La electricidad que producen está en forma de corriente alterna de frecuencia variable, por lo que ésta es rectificadora, almacenada en baterías y posteriormente se convierte de nuevo en alterna pero de frecuencia constante mediante un inversor. Finalmente un transformador es el que se encarga de subir la tensión a la que requiera el servicio.

Ejemplo: máquinas eólicas que se encargan de accionar bombas hidráulicas para la extracción de agua de los pozos.

Pequeños aerogeneradores (<50kW).-También suelen ser utilizados en sistemas aislados para generar electricidad que posteriormente servirá para cargar unas baterías de almacenamiento, es decir, cubren una demanda similar a la del grupo anterior, pero teniendo una mayor potencia. Además, también suelen utilizarse para formar sistemas híbridos, es decir, sistemas que combinan la energía eólica con otro tipo de energía como puede ser solar, hidráulica, diesel,...

Si la potencia es hasta 10kW el tipo de generador eléctrico sigue siendo de imanes permanentes y sin hacer uso de caja multiplicadora. Sin embargo, para una gama de potencias más alta se introducen cajas de engranajes entre el eje del rotor y el del generador, ya que el generador eléctrico funciona a unas velocidades mucho mayores que las del rotor del aerogenerador.

Ejemplo: máquinas eólicas que se encargan de la iluminación de granjas de animales.

Grandes aerogeneradores (<850kW).-En este caso, la producción de electricidad ya se inyecta a la red. Suelen ser aerogeneradores rápidos de eje horizontal que cuentan normalmente con tres palas. Sus potencias suelen estar comprendidas entre 200 y 850 kW y sus diámetros entre 25 y 55 metros. Cuentan con cajas de engranajes para aumentar la velocidad y así poder accionar el generador eléctrico y sus palas suelen contar con un sistema de regulación (ya sea activo o pasivo) mediante el que se controla la potencia del rotor en función de la velocidad del viento.

Aerogeneradores multimegawat (1-3MW).-La electricidad que producen también se inyecta a la red. Son similares a los anteriores en cuanto a cajas de engranajes y sistemas de regulación, sin embargo sus diámetros son mucho mayores (entre 50 y 90 metros) y su altura suele estar entre 60 y 100 metros.

Clasificación por número de palas.

Hélices de una pala.-La utilización de una turbina eólica monopala aumenta la velocidad de rotación del rotor y por tanto reduce las masas y costos de los demás elementos como el multiplicador y el generador eléctrico. Además, económicamente hablando el costo es muy pequeño, ya que la fabricación es sencilla y la cantidad de materiales también, por el hecho de contar sólo con una pala.

Sin embargo, estas turbinas requieren un contrapeso para que se compense la única pala, y además, el desequilibrio aerodinámico en este modelo es muy grande y causa problemas de fatiga. Otra desventaja es que la velocidad en punta de pala al ser muy alta provoca mucho ruido aerodinámico. Si comparamos este rotor con los rotores tripalas vemos que la velocidad en punta de pala es dos veces mayor en los monopala, por lo que el nivel sonoro resultante es bastante elevado.



Fig. 2.7.1 Hélice monopala.

Hélices de dos palas.-El costo del rotor es menor que en uno tripala, sin embargo debido a los fluctuantes esfuerzos dinámicos que se originan con esta configuración se requieren dispositivos especiales para disminuir el estado de carga, lo que eleva finalmente el costo global de la máquina, perdiéndose la ventaja económica respecto a la tripala. Además, en cuanto a vibraciones, los bipala son más sensibles que los tripala, ya que tienen mayores velocidades en punta de pala.

Además, igual que ocurría en los monopala, los bipala poseen la posibilidad de fijarse al cubo del rotor mediante un dispositivo de oscilación, efecto denominado teetering, una especie de bisagra que permite compensar los esfuerzos que provoca la variación del perfil de velocidad del viento con la altura, lográndose un patrón de esfuerzos externos algo más plano a lo largo del área barrida por la pala. Otras ventajas se dan en la fabricación, ya que si es de poca potencia y con sistema de control Stahl, su fabricación se puede hacer en un único bloque.



Imagen 2.7.2 Hélice bipala. Fuente.

Hélices de tres palas.-Una de las razones principales para la utilización de tres palas es el momento debido a Coriolis constante, casi nulo, del rotor respecto a los movimientos operacionales alrededor del eje longitudinal de la torre. Todos los rotores con tres o más palas tienen esta propiedad favorable. Por lo que no induce ninguna carga sobre la estructura debido a éste fenómeno lo que acontece en una simplificación estructural y reducción en los costos de fabricación.

La característica fundamental de esta configuración es su mayor suavidad de funcionamiento respecto a las anteriores. Los rotores de tres palas tienen velocidades de rotación relativamente bajas, lo son también las de punta de pala, constituyendo una gran ventaja respecto a los mono palas y bipalas debido a la reducción en el nivel de ruido que esto conlleva.

Asimismo, de manera diferente a las hélices mono y bipalas las de tres palas gozan de una gran aceptación pública en cuanto al impacto visual que ocasionan.



Fig. 2.7.3 Hélice tripala. Fuente.

Hélices multipalas.-Los rotores multipala, tipo americano, tienen por uso casi excluyente el bombeo de agua. Su elevada fuerza de arranque y su relativo bajo costo los hace muy aptos para accionar bombas de pistón. Se estima que en el mundo existen más de 1.000.000 de molinos de este tipo en operación.



Fig. 2.7.4 Hélice múltipala.

La clasificación de las máquinas eólicas según su velocidad de funcionamiento hace dividir las en los siguientes grupos:

Máquinas eólicas rápidas.-En este caso, el número de palas suele ser pequeño y como su potencia por unidad de peso es mayor y además son más ligeras, se pueden construir con radios mucho mayores y situar el buje a alturas también mayores, aprovechando de esta forma el aumento de la velocidad del viento con la altura. Actualmente se construyen rotores de hasta 90 metros de diámetro, alcanzando su potencia nominal los 300kW.

Requieren mayores velocidades de viento para su arranque que las eólicas lentas (necesitan 4-5m/s frente a los 2-3m/s que necesitan las lentas), alcanzan su potencia nominal a velocidades de viento entre 12 y 15 m/s y a partir de 25-30m/s se produce la parada del rotor para evitar daños en la máquina. El valor máximo del coeficiente de potencia C_p está en torno al 0,4 y se da para valores de velocidad específica entre 7 y 10 (valores mayores que en el caso de las eólicas lentas).

Además, como tienen un menor número de palas, es más fácil incorporar mecanismos de control de variación de ángulos de ataque con respecto a la dirección del viento, para así proteger mejor el equipo.

Máquinas eólicas lentas.-Normalmente cuenta con un elevado número de palas (entre 12 y 24) y su sistema de orientación se da mediante un timón-veleta que hace que el plano de la hélice esté siempre situado perpendicular al viento. Su diámetro es menor que en las máquinas eólicas rápidas (entre 1 y 3 metros), ya que éste está limitado por el peso del rotor y para que arranquen necesitan velocidades de viento entre 2-3m/s. Sus aplicaciones son sobretodo en instalaciones de extracción y bombeo de agua.

Clasificación por disposiciones del eje del rotor

Los aerogeneradores se pueden clasificar de acuerdo a la disposición del eje del rotor en:

Aerogeneradores de eje horizontal.-Este tipo de aerogeneradores son los más comunes y los más eficientes en temas de conversión. Esta conversión se realiza mediante dispositivos ubicados en la misma torre, como es el caso de las turbinas eólicas destinadas a la producción de electricidad, donde el generador eléctrico está localizado en la cúpula.

Las denominas máquinas rápidas, con palas de perfil aerodinámico y casi exclusivamente empleadas para la generación de electricidad, tiene rotores de 1 a 3 palas que pueden estar ubicados a popa (*sotavento*) o a proa (*barlovento*) de la cúpula. Los rotores con palas a sotavento no requieren de sistemas de orientación pues las fuerzas en juego tienden a orientarlo naturalmente, aunque en máquinas de gran tamaño se prefiere emplearlos para evitar los "cabeceos" que someterían las palas a vibraciones perjudiciales.

En el caso de palas a barlovento los sistemas de orientación son imprescindibles, por ello se utilizan colas de orientación en el caso de pequeños aerogeneradores o servomecanismos de orientación en el caso de los grandes.

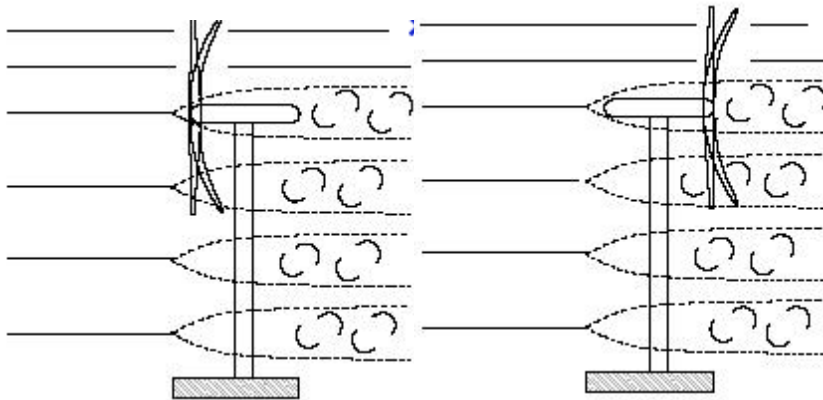


Fig. 2.7.5 Aerogeneradores con rotor a barlovento y a sotavento

Aerogeneradores de eje vertical.-Este tipo de aerogeneradores tiene la ventaja de que no necesitan sistemas de orientación. Esto es una gran ventaja, ya que no habría que diseñar ni fabricar estos mecanismos tan complejos de

direccionamiento y se eliminarían los esfuerzos a los que se ven sometidas las palas ante los cambios de orientación del rotor. Así, por su disposición, hacen posible la colocación de los sistemas de conversión en el suelo, eliminando de esta forma pesadas cargas en las torres, algo que no se puede evitar en los de eje horizontal.

Dentro de los aerogeneradores de eje vertical existen dos diseños básicos: Savonius y Darrieus. Este proyecto está centrado en el rotor Savonius, debido a su sencillez en cuanto

a técnicas de fabricación y a su bajo costo, aunque todo ello afecte a su eficiencia, haciendo que ésta no sea muy elevada. Este tipo de rotores suelen utilizarse en aplicaciones donde se requieren pequeñas potencias. En cuanto a los rotores Darrieus cada vez se están desarrollando más para la generación de electricidad, llegando incluso a competir con los de eje horizontal de palas aerodinámicas. Tienen un par de arranque nulo y entregan potencias altas por unidad de peso del rotor y por unidad de costo. La combinación de estos dos diseños de rotores ha dado lugar a un diseño de rotor Savonius con las palas torsionadas, para aumentar así su par de arranque.



Fig.2.7.6 diseños básicos: *Savonius y Darrieus.*

2.8 Conversión de la energía eólica en energía eléctrica

La conversión de la energía eólica en energía eléctrica se lleva a cabo de la siguiente manera.

La energía disponible en el viento es energía cinética, dicha energía es la que choca con las palas del rotor y estas palas la convierten en energía mecánica. El rotor se encuentra conectado al eje, y el par motor en dicho eje puede hacer trabajos mecánicos o generar electricidad.

Dependiendo del diseño aerodinámico de la pala, el viento, al actuar en las palas, produce un levantamiento o un arrastre. En el levantamiento lo que ocurre es que se produce una presión diferente en cada lado de la superficie del rotor, haciendo que el plano aerodinámico se levante. En el arrastre el viento golpea físicamente al rotor y lo arrastra con esa fuerza de choque. En cuanto a eficiencia se prefiere el levantamiento y las máquinas más modernas emplean este principio en su operación. Aun con todo, se sabe que por la Ley de Betz, como ya se ha explicado con anterioridad, solamente puede aprovecharse el 59,6% de la energía disponible del viento, ya que si fuera posible la extracción de toda la energía en movimiento del viento, justo detrás de las palas se quedaría una gran cantidad de aire en calma, por lo que bloquearía el acceso de más aire a las palas.

Una vez que ya se ha extraído la energía del viento, esta energía mecánica es convertida en energía eléctrica mediante un generador eléctrico, el cual puede ser de muy diversos tipos dependiendo de cómo sea el aerogenerador (según su potencia nominal, su uso, su posición,...). Por tanto, en esta conversión de energía mecánica a energía eléctrica también habrá unas determinadas pérdidas, las cuales también dependerán del tipo de generador seleccionado.

Generadores.-El generador es una máquina eléctrica que convierte la rotación de un eje en una corriente eléctrica. Según el tipo de máquina, la corriente suministrada puede ser continua o alterna y dentro de esta última puede ser alterna monofásica o polifásica. Dentro de las polifásicas la más usada es la trifásica.

Para este tipo de máquinas artesanas los generadores más empleados son los de corriente alterna con rotor de imanes permanentes. Por ello el campo magnético que se necesita para generar la corriente eléctrica es producido por los imanes que giran montados sobre el rotor. Esto es una ventaja ya que no tenemos que consumir ningún tipo de energía para producir los campos magnéticos necesarios, además de evitar el uso de bobinas giratorias, colectores y escobillas que sufren desgaste y precisan mantenimiento.

Los generadores que se pueden utilizar reutilizando materiales pueden ser de diversos tipos:

- Alternadores de coche. Ventajas.- se encuentra con mucha facilidad y gratis. Inconvenientes: no se auto excita y necesita un gran numero de RPM para producir electricidad. Lleva escobillas.

Dinamos de coche de modelos antiguos.- Produce directamente corriente continua. Inconvenientes: Se auto excita a muy altas revoluciones. Lleva colector de delgas y escobillas.

Motores asíncronos reconvertidos en alternadores.- Es una opción muy interesante.

Consiste en vaciar parte del rotor de un motor trifásico para insertarle varios imanes.

Ventajas: Funcionamiento asegurado desde incluso bajas revoluciones. Buen rendimiento. Bajo mantenimiento. Inconvenientes: Se necesitan imanes prácticamente a

Roberto Carlos Chumioque Quezada medida y se necesita un correcto mecanizado del rotor con maquinaria específica.

Alternadores de construcción integral.- Esta es una buena solución, sobre todo para los más arriesgados amantes del bricolaje. Es la solución que he adoptado para mi proyecto. Consiste en la construcción pieza a pieza de todas las partes del alternador, que tampoco son muchas.

Ventajas: Funcionamiento asegurado. Diseño a la carta en función de las necesidades y de los materiales utilizados. Bajo mantenimiento. Funciona desde bajas RPM. Inconvenientes: Los resultados finales dependen en gran medida de lo diestro y cuidadoso que sea al constructor. Si se emplean imanes de neodimio el rendimiento es excelente pero su precio es muy caro, pues no se suelen encontrar de desguace. Se pueden emplear imanes de altavoces averiados de gran tamaño, pero tiene peor rendimiento y su forma toroidal puede causar algún problema. Se necesita algunos conocimientos y herramientas específicas.

Si el uso de un aerogenerador va a ser el de carga de baterías se hace necesario intercalar entre el generador y la batería un circuito rectificador y un regulador de carga para no sobrecargarla.

2.9 Regiones con gran potencial eólico en México

En México se han realizado prospecciones del recurso energético eólico a un nivel exploratorio y de reconocimiento puntual, con pequeñas redes anemométricas realizadas por parte de instituciones federales mexicanas como por ejemplo el proyecto plan de acción eólico que lleva a cabo el IIE CFE, los estudios de National Renewable Energy Laboratory (NREL) y otros como ANES, AMDEE Y IEE han cuantificado un potencial superior a los 40,000 MW, siendo las regiones con mayor potencial el istmo de Tehuantepec y las penínsulas de Yucatán y Baja California, que a continuación se nombrarán en orden de mayor a menor potencial:

- **Sur del istmo de Tehuantepec con un potencial de 20000-30000 MW.** Esta región contiene un área del orden de 10000 km cuadrados expuestos a vientos muy intensos, dado a un fenómeno monzónico entre el golfo de México y el golfo de Tehuantepec. En esa zona se ubica actualmente la primera central eoloelectrónica de México en la zona, Oaxaca (1994).
- **Península de Baja California con un potencial de 1500-2500 MW.** Su extensión geográfica, baja densidad poblacional y alimentada por sistemas aislados.
- **Península de Yucatán con un potencial de 1000-20000 MW.** Como es el caso de Quintana Roo y el oriente de Cozumel, zonas con potencial eólico interesante para contribuir significativamente en la energía eléctrica de la península.
- **Altiplano norte con el potencial de 800-20000 MW.** Desde la región central de Zacatecas a la frontera con Estados Unidos al norte del país, da lugar a innumerables sitios con potencial explotable.
- **Región central.** En la región central del altiplano permanecen los vientos alisios del verano, desde Tlaxcala hasta Guanajuato, siendo más intensos en la zona de Pachuca. Estos vientos complementan estacionalmente a los del altiplano norte y los del sur del istmo de Tehuantepec. En esta región ya han establecido con éxito pequeños proyectos eólicos e híbridos para electrificar comunidades rurales remotas.
- **Las costas del país con un potencial de 10000-15000 MW.,** por el extenso litoral mexicano y sus islas, presentan por lo menos condiciones para generación en pequeña escala y almacenamiento de energía en baterías, sistemas híbridos diesel – eólicos y en otras generaciones interconectadas. La generación eólica en gran escala en las costas para la producción de hidrógeno, constituirá una de las principales aplicaciones a futuro.

3. Desarrollo

3.1 Diseño del modelo

El finés Sigurd Savonius inventó el rotor que lleva su nombre a mediados de la década del 20 y desde entonces el rotor en cuestión ha sido objeto de numerosos Estudios que han ayudado a determinar las variables que inciden en su eficiencia. Sus principales ventajas consisten en la relativa facilidad de construcción, su costo reducido en comparación a otros aerogeneradores y su bajo nivel tecnológico, lo cual lo hacen especialmente adecuado para países en vías de desarrollo y para poblados aislados y de pocos recursos.

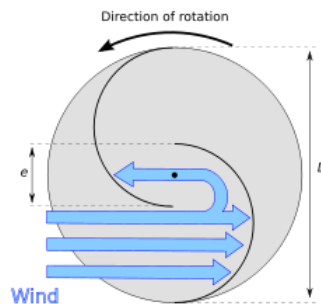


Fig.3.1 *dirección de rotación*

Sin embargo, debido a que funciona gracias al arrastre que produce el viento en sus palas (la diferencia de arrastre que se genera en las palas -una es cóncava y la otra convexa- causa un momento de torsión total respecto al eje distinto de cero en la presencia de suficiente viento, produciendo el giro), implica que exista una gran pérdida de energía causada por el rozamiento con el aire de la pala que va en contra del viento.

Esta es la razón por la cual se ha optado, en la mayoría de los casos, por utilizar aparatos que funcionen principalmente por el fenómeno de sustentación (lift), como el aerogenerador tradicional de eje horizontal (HAWT) o el más escaso tipo Darrieus (de eje vertical, o VAWT). Mientras un buen aerogenerador de eje vertical puede tener un coeficiente de potencia C_p (Potencia Extraída/Potencia Disponible en el Viento) cercano a 0,45 (máximo teórico, o límite de Betz: 0,593), un Savonius Tradicional difícilmente superará un 0,2 como C_p .

El Sr Savonius introdujo un detalle muy importante en su modelo, que consiste en el traslape existente entre las dos palas que forman el aparato. Esto permite aumentar la eficiencia en la extracción de energía, debido a la adición de un factor de sustentación (no muy grande) al ya comentado factor de arrastre.

Como se puede apreciar en el modelo de la imagen, se ha incluido esta característica.



Fig.3.1.1 factor de arrastre.

Sabiendo los detalles de la generación en un rotor común se puede decir que no es lo suficientemente eficaz por ello la modificación del rotor e incorporación de una pala mas es decir ahora será un rotor tipo savonius de 3 palas para aumentar la eficiencia y eficacia con la misma además de aprovechar el viento de una mejor manera.

3.2 Prototipo

El prototipo es la primera versión o modelo del producto, en que se han incorporado algunas características del producto final. Se crean con rapidez y a bajo costo para explorar la factibilidad del concepto preliminar. Se puede fabricar a mano, de materias simples, pero también se puede contar con la pericia de un ingeniero, diseñador o desarrollador profesional de prototipos. De todos modos, el objetivo del prototipo es ayudar al emprendedor a visualizar y refinar su producto porque aunque el producto funciona bien en teoría, no es hasta que se empieza a trabajar en el prototipo cuando se empiezan a ver los fallos y los puntos de mejora.

Con el prototipo es posible aprender sobre las barreras que se presentarán durante la implementación del producto y mejorarlo a partir de ahí. Prueba la funcionalidad y viabilidad de esa idea inicial en convertirse a un producto deseado y útil. Así que requerirá varias interacciones para completamente profundizar la idea. Se repite el proceso hasta que el prototipo ha evolucionado tanto como sea posible.

Se realizó un prototipo previo a la construcción teniendo en cuenta los principios fundamentales del rotor convencional para lograr uno de 3 aspas en el cual aún no hay una información definida de esta llegando a la conclusión de que este tipo de

modelo no era el óptimo para la construcción del rotor y tendríamos que remodelarlo para llegar a la meta acordada.



Fig.3.2 *prototipo.*

3.3 Diseño del nuevo rotor

Se diseñó el rotor del generador teniendo en cuenta los principios del rotor convencional y dejando los espacios entre pala y pala para que el viento adquirido tome el camino hacia la otra pala llegando a una mejor eficiencia aprovechando el viento de una manera mas optima a comparación del prototipo antes mencionado.



Fig.3.3 *rotor.*

3.4 Innovación del equipo

Desmontable.-El equipo diseñado es desmontable por lo que sus partes son separadas teniendo como ventaja el fácil manejo de todos sus componentes obteniendo mejores alternativas para su transporte y con ello tener mayor acceso a cambios si en caso de que un elemento del sistema generador sufra daños o la eficiencia no sea la esperada.

Sistema de poleas(multiplicador de velocidad).-Se emplea para transmitir un movimiento giratorio entre dos ejes distantes permitiendo aumentar, disminuir o mantener la velocidad de giro del eje conductor, al tiempo que mantener o invertir el sentido de giro de los ejes.

Este mecanismo es muy empleado en aparatos electrodomésticos (neveras, lavadoras, lavavajillas...), electrónicos (aparatos de vídeo y audio, disqueteras...) y en algunos mecanismos de los motores térmicos (ventilador, distribución, alternador, bomba de agua...).

Normalmente los ejes tienen que ser paralelos, pero el sistema también puede emplearse con ejes que se cruzan en ángulos inferiores o iguales a 90° .

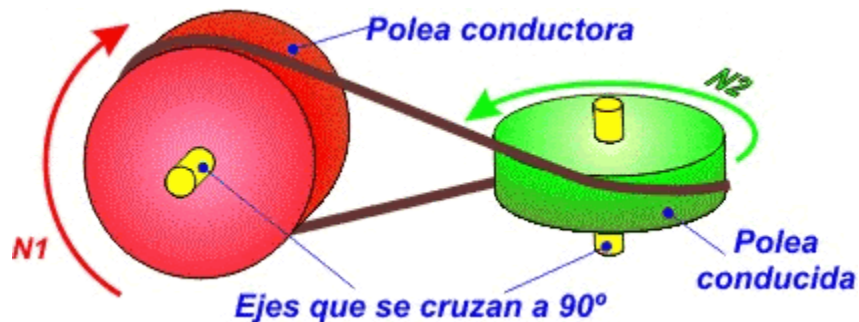


Fig.3.4 sistemas de poleas.

El multiplicador de velocidad por poleas más elemental que puede construirse emplea, al menos, los siguientes operadores: dos ejes (conductor y conducido), dos poleas fijas de correa (conductora y conducida), una correa y unabase sobre la que fijar todo el conjunto; a todo ello se le pueden añadir otros operadores como poleas tensoras olocas cuya finalidad es mejorar el comportamiento del sistema.

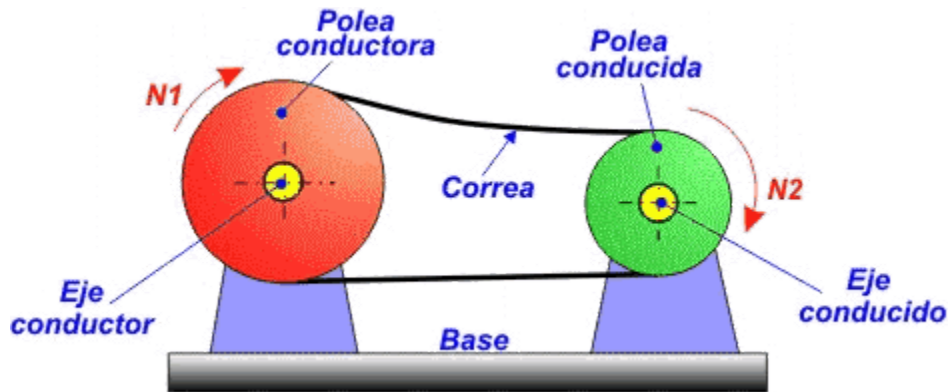


Fig.3.4.1 multiplicador de velocidad

La utilidad de cada operador es la siguiente:

- El **eje conductor** es el eje que dispone del movimiento que queremos trasladar o transformar (en una lavadora sería el propio eje del motor).
- El **eje conducido** es el eje que tenemos que mover (en una lavadora sería el eje al que está unido el bombo).
- **Polea conductora** es la que está unida al eje conductor.
- **Polea conducida** es la que está unida al eje conducido.
- La **correa** es un aro flexible que abraza ambas poleas y transmite el movimiento de una a otra. Es interesante observar que los dos tramos de la correa no se encuentran soportando el mismo esfuerzo de tensión: uno de ellos se encuentra bombeado (flojo) mientras que el otro está totalmente tenso dependiendo del sentido de giro de la polea conductora (en la figura se puede observar que el tramo superior está flojo mientras que el inferior está tenso).
- La **base** es la encargada de sujetar ambos ejes y mantenerlos en la posición adecuada. En algunas máquinas este operador dispone de un mecanismo que permite aumentar o disminuir la distancia entre los ejes para poder tensar más o menos la correa.

Para aumentar la eficacia de este mecanismo se pueden añadir los operadores siguientes:

- La **polea tensora** es un cilindro (u otra polea de correa) que apoya sobre la correa y permite aumentar su tensión adecuadamente. Puede deslizarse sobre una guía a la que se sujeta mediante un tornillo que también hace de eje.

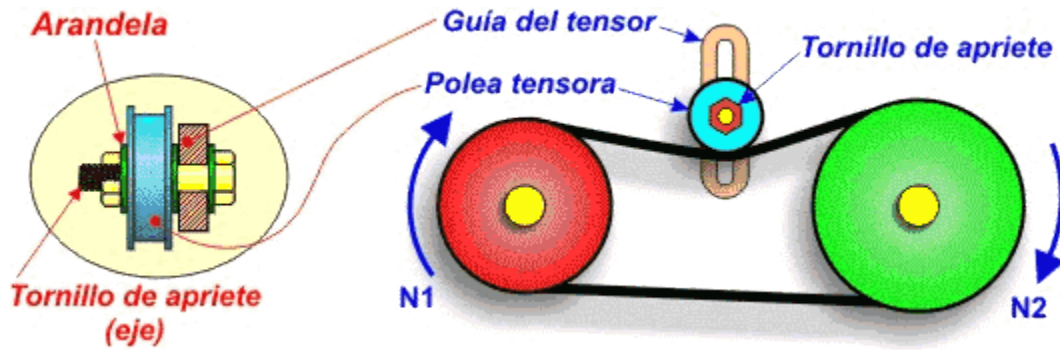
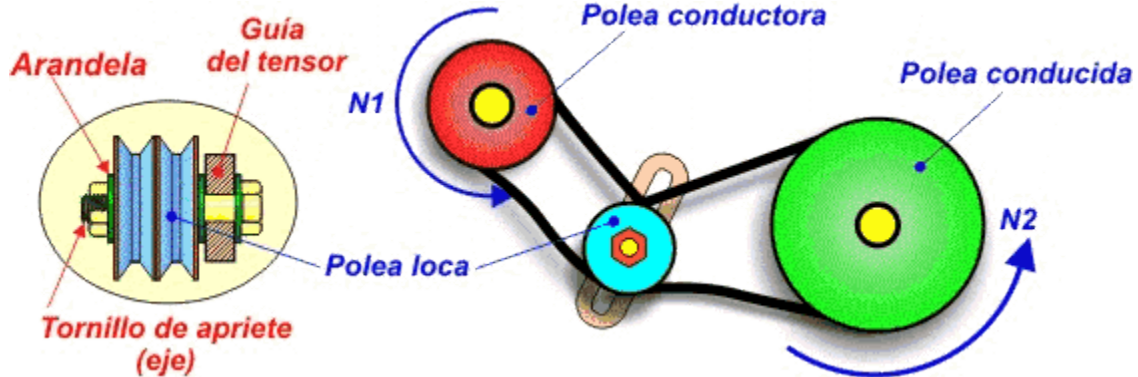


Fig.3.4.2 partes del sistema de poleas

- La **polea loca** puede ser una polea como la anterior o estar formada por dos poleas solidarias de igual o diferente diámetro que no mueven ningún eje motriz. Permiten enlazar dos correas y tensarlas, multiplicar velocidades, modificar la dirección de las fuerzas...



3.5 Relación de velocidades

La transmisión de movimientos entre dos ejes mediante poleas está en función de los diámetros de estas, cumpliéndose en todo momento:

$$N1 \times D1 = N2 \times D2$$

$$N2 = N1 \times (D1/D2)$$

Donde:

D1 Diámetro de la polea conductora

D2 Diámetro de la polea conducida

N1 Velocidad de giro de la Polea Conductora

N2 Velocidad de giro de la Polea Conducida

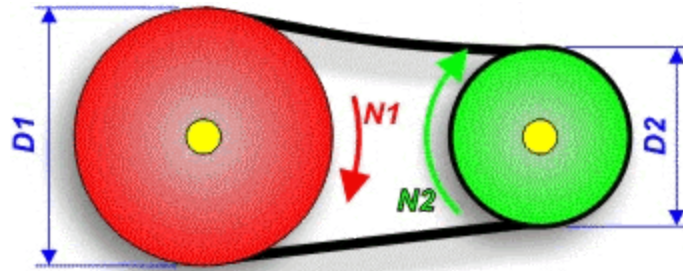


Fig.3.5 relación de velocidad

Definiendo la relación de velocidades (*i*) como:

$$i = \frac{\text{Velocidad eje conductor}}{\text{Velocidad eje conducido}} = \frac{\text{Diámetro polea conducida}}{\text{Diámetro polea conductora}}$$

$$i = \frac{N1}{N2} = \frac{D2}{D1}$$

Este sistema de transmisión de movimientos tiene importantes ventajas: mucha fiabilidad, bajo coste, funcionamiento silencioso, no precisa lubricación, tiene una cierta elasticidad...

Como desventaja se puede apuntar que cuando la tensión es muy alta, la correa puede llegar a salirse de la polea, lo que en algunos casos puede llegar a provocar alguna avería más seria.

Posibilidades del multiplicador de velocidades.-Teniendo en cuenta la relación de velocidades que se establece en función de los diámetros de las poleas, con una adecuada elección de diámetros se podrá aumentar ($D1 > D2$), disminuir ($D1 < D2$) o mantener ($D1 = D2$) la velocidad de giro del eje conductor en el conducido.

Disminuir de la velocidad de giro.-Si la *Polea conductora* es menor que la *conducida*, la velocidad de giro del eje *conducido* será menor que la del eje *conductor*.

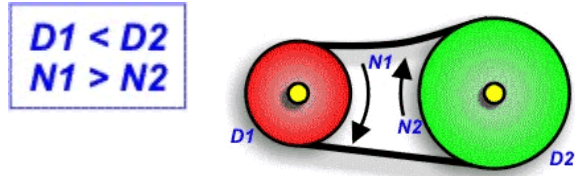


Fig.3.5.1 *Disminución de velocidad*

Mantener la velocidad de giro.-Si ambas poleas tienen igual diámetro, las velocidades de los ejes serán también iguales

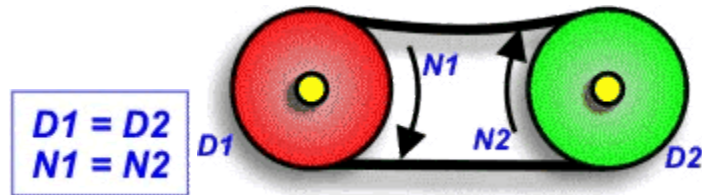


Fig.3.5.2 *conservación de velocidad*

Aumentar la velocidad de giro.-Si la *Polea conductora* tiene mayor diámetro que la *conducida*, la velocidad de giro aumenta.

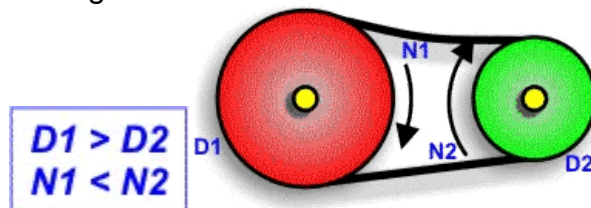


Fig.3.5.3 *Aumento de velocidad*

Invertir el sentido de giro

Empleando poleas y correas también es posible invertir el sentido de giro de los dos ejes sin más que cruzar las correas.

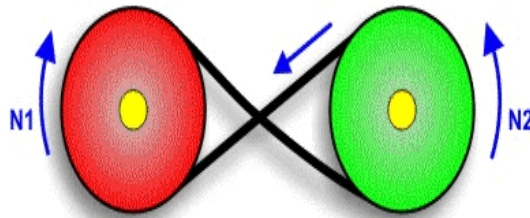


Fig.3.5.4 Inversión de giro

Se adaptó un sistema de poleas con el fin de aumentar las velocidades producidas por el rotor y tener una eficiencia mejor del modelo que consta de una polea inferior y superior que luego está dirigida al alternador.

$$N_1 D_1 = N_2 D_2$$

Donde:

D_1 = Diámetro de la polea conductora

D_2 = Diámetro de la polea conducida

N_1 = velocidad de giro de la polea conductora

N_2 = velocidad de giro de la polea conducida

i = Relación de velocidades

$$i = \frac{\text{velocidad eje conductora}}{\text{velocidad (n) ejeconducido}} = \frac{\text{Diámetro polea conducida}}{\text{Diámetro polea conductora}}$$

$$i = \frac{N_1 D_2}{N_2 D_1}$$

FORMULA:

N_1 = velocidad polea entrante 3000 rpm

N_2 = velocidad polea de salida

N3= velocidad polea de salida

N4= velocidad polea de salida

D1=diámetro de la polea entrada es 30 cm

D2=diámetro de la polea de salida es 10 cm

D3=diámetro de la polea de salida es 50 cm

D4=diámetro de la polea de salida es 10 cm

Calculo de la velocidad del eje 2

$$N1(D1)=N2 \cdot D2$$

$$3000(30)=N2 \cdot 10$$

$$N2 = \frac{(3000)(30)}{10} = 9000 \text{ rpm}$$

Calculo de velocidad del eje 3

$$N3 = N2$$

$$N3D3 = N4D4$$

$$9000 \text{ rpm} \cdot 50 \text{ cm} = N4(10 \text{ cm})$$

Rueda 1=3000 rpm

Rueda 2=9000 rpm

Rueda 3=4500 rpm

FACTOR DE TRANSMISION

Primera y segunda rueda

$$i1 - 2 = \frac{D1}{D2} = \frac{30}{10} = 3$$

3.6 Diseño de la estructura del rotor

La estructura consta de su base, la superficie y los 4 pilares que se unen por medio de tornillos para ser una estructura firme y de transporte fácil además no estar fijo en un solo lugar es decir que el sistema en si puede ser desmontable en todos los casos

Contrapesos.-Se implementó un sistema de contrapesos para volver estable el equipo de posibles vibraciones o de un desbalance del rotor producido ya sea por el terreno en el que se colocara o por algún problema que pueda producir que consta de aplicar un poco de peso en la pala que este fuera del Angulo ideal para compensar el sistema

Tensores.-Estos actúan como tensores, refuerzan la estructura y mantienen el rotor en su posición; cuando se colocan varios cables en forma cruzada se forma una red. Los cables que se encuentran en los soportes verticales soportan las cargas producidas por la gravedad como el peso de la estructura. Éstos están hechos de acero muy resistente y se fabrican en diversas presentaciones según las tensiones y cargas que deben soportar.

Los cables y tirantes de barra de acero desarrollados están enfocados para el uso en diversas aplicaciones, tales como:

- Tirantes para grandes estructuras
- Arriostramiento de naves, edificios,...
- Atirantado de marquesina y voladizos
- Mallas de cable acero
- Cables y accesorios para el uso en arquitectura textil
- Catenarias y péndolas para puentes y pasarelas

La estructura del proyecto tiene 2 aros en la parte superior y media de cada pilar para poder colocar nuestro savonius en cualquier terreno además de brindarle la estabilidad que necesite en cuanto a que la estructura se encuentre firme.

Alternador

Un alternador es una máquina eléctrica, capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética. Los alternadores están fundados en el principio de que en un conductor sometido a un campo magnético variable se crea una tensión eléctrica inducida cuya polaridad depende del sentido del campo y el valor del flujo que lo atraviesa. Un alternador es un generador de corriente alterna que funciona cambiando constantemente la polaridad para que haya movimiento y genere energía.

3.7 MANUAL PASO A PASO DE ARMADO DEL AEROGENERADOR TIPO SAVONIUS

Elementos componentes del aerogenerador

- Base inferior de la estructura(A1)
- Base superior de la estructura(A2)
- Soporte vertical de la estructura 1(A3)
- Soporte vertical de la estructura 2(A4)
- Soporte vertical de la estructura 3(A5)
- Soporte vertical de la estructura 4(A6)
- Base inferior del rotor(B1)
- Base superior del rotor(B2)
- Pala 1(B3)
- Pala 2(B4)
- Pala 3(B5)
- Banda primaria(C1)
- Banda secundaria(C2)
- Alternador(D)
- Polea primaria(E1)
- Polea secundaria superior(E2)
- Polea secundaria inferior

Herramientas:

2 Llaves truper de 7/16 tipo corona o española

Paso 1

Colocar la base inferior de el rotor sobre una superficie plana



Pasó 2

Introducir las palas en su debido lugar previamente marcados y atornillalas



Pasó 3

Colocar la base superior del rotor y atornillar con las palas



Pasó 4

Colocar la base inferior de la estructura en la superficie deseada para armar el sistema



Pasó 5

Colocar los soportes verticales de la estructura en su debido lugar



Pasó 6

Atornillar el alternador en su base



Pasó 7

Introducir el rotor previamente armado en la flecha de la base inferior de la estructura dejando dentro de la flecha la banda primaria



Pasó 8

Colocar la parte superior de la estructura y atornillar



Pasó 9

Introducir la banda primaria con la polea primaria y la polea secundaria inferior



Pasó 10

Introducir la banda secundaria con la polea secundaria superior y el alternador



El sistema finalizado debe de lucir asi.



3.8 Mantenimiento

Debido a que el ingreso siempre provino de la venta de un producto o servicio, esta visión primaria llevó a centrar los esfuerzos de mejora, y con ello en la función de producción. El mantenimiento surgió al querer producir continuamente, produce un bien real, que puede resumirse en: capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad. Cuya finalidad es reparar desperfectos en forma rápida y barata. por lo cual decidimos que nuestro proyecto sea sujeto al menor numero de mantenimiento como se mencionara en lo siguiente:

Parte mecánica

- Lubricación de baleros
- Ajuste de tornillos
- Ajuste de tensores
- Ajustes de bandas

Parte eléctrica

- Verificación del estado de las escobillas y regulador de tensión
- Comprobación de carga

3.9 Estado financiero

Material y mano de obra	5600
Alternador	750
Bandas	240
Batería	650
Tornillos	100
Costo total del equipo	7340

3.10 Ventajas Y Desventajas.

- Los de eje horizontal tiene un coeficiente de potencia mayor.
- Los de eje horizontal presentan una velocidad de giro mayor que las de eje vertical, por lo que son más adecuadas para el accionamiento de generadores eléctricos que giran a 1000 o 1500 rpm.
- Los de eje horizontal permiten barrer mayores superficies que las de eje vertical por lo que alcanzan potencia mucho mayor.
- Los de eje horizontal aprovechan el efecto beneficioso del aumento de la velocidad del viento con la altura respecto al suelo. La configuración de las de eje vertical impide alcanzar alturas elevadas y por lo tanto no pueden aprovechar este efecto.

En cambio, de eje vertical presentan las siguientes ventajas frente a las de eje horizontal

- Dada su simetría vertical, no necesitan sistemas de orientación de alinear el eje de la turbina con la dirección del viento, como ocurre en las de eje horizontal.
- Su mantenimiento es más sencillo, dada su poca altura con respecto al suelo.
- Cuando el aerogenerador de eje vertical trabaja en una aplicación que requiere velocidad constante, no es necesario incorporar ningún mecanismo de cambio de paso.
- Los de eje horizontal son más usados en la práctica. Las eólicas de eje vertical se utilizan básicamente para investigación.

CONCLUSION

Después de un análisis detallado sobre la energía eólica, sus aplicaciones, ventajas, desventajas, su historia, definición en fin sus conceptos mas relevantes podemos llegar a la conclusión de que es una fuente de energía inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático. La energía eólica ha probado ser más confiable que la energía solar en cerros altos y nublados que generalmente presentan buen régimen de vientos.

Adicionalmente un generador eólico ofrece mayor resistencia al hurto pues no es una tecnología conocida y es más difícil de desmontar. La energía eólica también es una mejor alternativa que la generación diesel especialmente donde el acceso es dificultoso, costoso o distante. El recurso eólico es variable y puede tener periodos de quietud. La energía solar es un perfecto complemento a la energía eólica en la medida en que ofrece una carga básica en estos periodos. Comunes en aplicaciones comerciales o en aplicaciones residenciales.

El viento se está mostrando como un recurso energético seguro y económico en las instalaciones situadas principalmente en Europa, los EE.UU. y la India. Los avances tecnológicos de los últimos cinco años han colocado a la energía eólica en posición de competir, en un futuro próximo, con las tecnologías de generación de energía convencionales. El coste de producción de electricidad por la acción del viento en Europa ha disminuido en los últimos 15 años aproximadamente en un 80% de 0,5 ECU a menos de 0,1 ECU por kWh.

En algunos casos incluso se han indicado costes de hasta 0,06 ECU por kWh. Al mismo tiempo, la capacidad instalada ha aumentado enormemente, desde menos de 100 MW hasta 2000 MW en este último año. En comparación, el coste de producción actual de las plantas nucleares y de combustible fósil en Europa oscila entre 0.04 y 0.08 ECU por kWh. En 1995, las turbinas eólicas generaron 7 TWh de electricidad, lo que constituye aproximadamente el 0,06% de la producción total de electricidad en el mundo.

Históricamente las primeras aplicaciones de la energía eólica fueron la impulsión de navíos, la molienda de granos y el bombeo de agua, y sólo hasta finales del siglo pasado la generación de energía eléctrica. Actualmente las turbinas eólicas convierten la energía cinética del viento en electricidad por medio de aspas o hélices que hacen girar un eje central conectado a través de una serie de engranajes (la transmisión) a un generador eléctrico.

En lo que respecta a capacidad instalada, para finales de 1997 a nivel mundial se tenían instalados alrededor de 7700 MW. En México se cuenta con la central eólica de la Ventosa en Oaxaca, operada por CFE, con una capacidad instalada de 1.5 MW y una capacidad adicional en aerogeneradores y aero bombas, según el balance nacional de energía de 1997, de alrededor de 2.4 MW. Existen varias ventajas competitivas de la energía eólica con respecto a otras opciones, como son: se reduce la desentendencia de combustibles fósiles. Los niveles de

emisiones contaminantes, asociados al consumo de combustibles fósiles se reducen en forma proporcional a la generación con energía eólica.

Las tecnologías de la energía eólica se encuentran desarrolladas para competir con otras fuentes energéticas. El tiempo de construcción es menor con respecto a otras fuentes energéticas. Al ser plantas modulares, son convenientes cuando se requiere tiempo de respuesta de crecimiento rápido. La investigación y desarrollo de nuevos diseños y materiales para aplicaciones en aerogeneradores eólicos, hacen de esta tecnología una de las más dinámicas, por lo cual constantemente están saliendo al mercado nuevos productos más eficientes con mayor capacidad y confiabilidad.

Energía eólica, es perfectamente factible, tanto desde el punto de vista técnico, como económico, pudiendo competir, en algunos casos, con los sistemas convencionales.

Otra conclusión particular puede señalarse que los aerogeneradores tipo savonius actualmente dichos sistemas no compiten económicamente con los convencionales, sin embargo, quizá en un tiempo no muy lejano, podrán ser competitivos también económicamente. También podemos decir que la ocupación de la energía eólica en diferentes partes del mundo, esta siendo utilizada como alternativa energética, ya que esta energía es una de las que menos contaminan, no daña la capa de ozono, no destruye el suelo ni contamina el aire.

En nuestro país la inclusión de nuevas tecnologías ha permitido generar plantas pilotos de producción de energía eólica, debido a que está en un periodo de investigación donde no se ha llevado a cabo la obtención de esta energía a mayor escala. Los aerogeneradores savonius se encuentran en una época experimental y para ser de una investigación muy reducida se han obtenido buenos resultados, según siga avanzando la investigación y tecnología no dudemos que se encontrará en la cima de la generación de energía eléctrica en un futuro no muy lejano.

5. Referencias

- [1] **ENERGÍAS RENOVABLES Y DERECHO DE ACCESO A LA ENERGÍA.** Miguel Fernández, La Paz (2010).´
- [2] **DISEÑO DE MÁQUINAS EÓLICAS DE PEQUEÑA POTENCIA.** Mario A.Rosato.(1991)
- [3] **RODAMIENTOS Y SISTEMAS DE LUBRICACIÓN SKF:** www.skf.com
- [4]**INGENIERÍA SIN FRONTERAS:** www.isf.es
- [5] **Burton, T. (2004). WIND ENERGY HANDBOOK.** Wiley
- [6] **IEA (2010). Energy technology perspectives 2010 scenarios strategies to 2050.** Technical report, International Energy Agency.
- [7] **Wiley, J. (2009). WIND ENERGY EXPLAINED, Theory, Design and Application** Second Edition. Wiley.
- [8] www.cib.espol.edu.ec/diqipath/d_tesis_pdf/d-28499.pdf
- [9] cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/.../1/TrujilloRiveraAlberto%20.pdf
- [10] www.perusolar.org/wp-content/uploads/.../Adriano-Peña-Rolando.pdf