

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
CARACTERIZACION DE UN PROTOTIPO EOLICO,
USANDO LA TARJETA VERNIER

TESIS

Que para obtener el Titulo de
INGENIERO ELECTRICISTA

Presenta
EDGAR NUÑEZ POLITO

Asesor de Tesis
GILBERTO GONZALES AVALOS

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

octubre del 2009

Agradecimientos

Primeramente agradezco a Dios por haberme dado luz en momentos difíciles, a mis padres que son un apoyo magnifico nunca m dejaron caer, a mi futura esposa que me inspiraba a cada instante, a mis maestros por haberme dado las herramientas suficientes para entender conceptos a veces no tan fáciles de entender y a mis amigos por sus risas y cariño.

Dedicatoria

Esta tesis la dedico a mi padre que m ayudo en infinidad de problemas que se presentaron no solo en la tesis si no también afuera, en mi vida, muchas gracias por siempre decirme que confiabas en mi, por supuesto también a mi novia que estuvo días y noches a mi lado viendo paso a paso la realización de esta tesis.

Contenido

CAPITULO 1 Introducción

1.1 Antecedentes.....	;	Error! Marcador no definido.
1.2 Objetivo	;	Error! Marcador no definido.
1.3 Justificación.....	;	Error! Marcador no definido.
1.4 Metodología.....	;	Error! Marcador no definido.
1.5 Contenido de la tesis.....	;	Error! Marcador no definido.

CAPITULO 2 Antecedentes

2.1 ¿Cómo se produce el viento?.....	;	Error! Marcador no definido.
2.2 Formas de utilizar la energía eólica.....	;	Error! Marcador no definido.
2.2.1 Energía eólica en la impulsión de barcos con velas	;	Error! Marcador no definido.
2.2.2 Molinos de viento y su funcionamiento	;	Error! Marcador no definido.
2.2.3 Molinos para la molienda de grano	;	Error! Marcador no definido.
2.2.4 Molinos para bombear agua	;	Error! Marcador no definido.
2.2.5 Molinos para producir electricidad.....	;	Error! Marcador no definido.
2.3 Sistemas de orientación	;	Error! Marcador no definido.
2.4 Aspas con resortes		15
2.5 Hélices aerodinámicas	;	Error! Marcador no definido.
2.6 Aerobombas.....	;	Error! Marcador no definido.
2.7 Teoría Aerodinámica	;	Error! Marcador no definido.
2.7.1 Aerodinámica y sus principios	;	Error! Marcador no definido.
2.7.2 Longitud de las aspas.....	;	Error! Marcador no definido.
2.7.2.1 Número de palas		24
2.7.3 Perfil aerodinámico.....		26
2.7.4 Fuerza total aerodinámica.....	;	Error! Marcador no definido.8
2.7.3.1 Sustentación.....	;	Error! Marcador no definido.0
2.7.3.2 Resistencia	;	Error! Marcador no definido.
2. 8 Instalaciones caseras utilizando aerogeneradores.....	;	Error! Marcador no definido.2
2.8.1 Componentes de una instalación eléctrica con aerogenerador;	;	Error! Marcador no definido.3
2.8.1.1 Utilización de la energía eólica para usos domésticos;	;	Error! Marcador no definido.
2. 9 ¿Como funciona una central eólica?.....	;	Error! Marcador no definido.7
2.10 Aerogeneradores Marinos.....	;	Error! Marcador no definido.6
2.10.1 Condiciones eólicas en el mar	;	Error! Marcador no definido.6
2.10.2 Bajo cizallamiento del viento implica menor altura de buje;	;	Error! Marcador no definido.7
2.10.3 Baja intensidad de las turbulencias igual a mayor tiempo de vida de los aerogeneradores	;	Error! Marcador no definido.7
2.11 Aerogeneradores Multimegavatios.....		39
2.11.1 Bonus 2 MW.....		39
2.12 Importancia de la energía eólica y su futuro.....		40

CAPITULO 3 Diseño y Construcción de un prototipo eólico

3.1 Partes esenciales que componen un aerogenerador.	;	Error! Marcador no definido.2
---	---	--------------------------------------

3.1.1 La góndola	;	Error! Marcador no definido.
3.1.2 Las palas del rotor.....	;	Error! Marcador no definido.
3.1.3 El buje.....	;	Error! Marcador no definido.
3.2.4 El eje de baja velocidad	;	Error! Marcador no definido.
3.1.5 El multiplicador	;	Error! Marcador no definido.
3.2.6 El eje de alta velocidad.....	;	Error! Marcador no definido.
3.1.7 El generador eléctrico	;	Error! Marcador no definido.
3.1.8 El controlador electrónico	;	Error! Marcador no definido.
3.1.9 La unidad de refrigeración.....	;	Error! Marcador no definido.
3.1.10 La torre	;	Error! Marcador no definido.
3.1.11 El mecanismo de orientación.....	;	Error! Marcador no definido.
3.1.12 El anemómetro y la veleta	;	Error! Marcador no definido.
3.2 Propuesta de un prototipo eólico	;	Error! Marcador no definido.
3.3 Pasos a seguir en la construcción de un rotor		47
3.3.2 Perfil del aspa		49
3.3.3 Plantillas		49
3.4 Construcción de las aspas		50
3.4.1 Termino de la superficie	;	Error! Marcador no definido.2
3.5 Pruebas de Esfuerzo.....		53
3.6 Balanceo del rotor.....		54
3.7 Instalación de las aspas al Rotor.....		55
3.8 Termino del aerogenerador.....		56
3.9 Generador Eléctrico		57
3.9.1 Comprobaciones en el alternador		59
3.9.2 Pruebas del rotor.....		60
3.9.3 Pruebas del estator		61
3.9.4 Pruebas del puente rectificador.....		62
3.9.5 Comprobación de los diodos montados en el puente rectificador		64
3.9.6 Comprobación de las escobillas		65

CAPITULO 4 Pruebas y Resultados usando la tarjeta vernier

4.1 Introducción.....	;	Error! Marcador no definido.
4.2 Pruebas de Voltaje Inducido.....	;	Error! Marcador no definido.
4.2.1 PRUEBA No. 1	;	Error! Marcador no definido.
4.2.2 PRUEBA No.2	;	Error! Marcador no definido.
4.2.3 PRUEBA No. 3	;	Error! Marcador no definido.
4.3 Pruebas de Velocidad	;	Error! Marcador no definido.
4.3.1 Experimento No. 1 a 2 volts de magnetización	;	Error! Marcador no definido.
4.3.2 Experimento No. 2 a 5 volts de magnetización	;	Error! Marcador no definido.
4.3.3 Experimento No. 3 a 8 volts de magnetización	;	Error! Marcador no definido.
4.3.4 Experimento No. 3 a 8 volts de magnetización, en un lugar irregular;	;	Error! Marcador no defini
4.4 Pruebas Finales	;	Error! Marcador no definido.
4.5 Inversor de corriente Cd a Ca	;	Error! Marcador no definido.

CAPITULO 5 Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones.....	;	Error! Marcador no definido.
5.2 Recomendaciones	;	Error! Marcador no definido.

Lista de Figuras

- 2.1.1 Gigante Preussen con todas sus velas desplegadas 2.1
- 2.2.2 Molino de viento en “La Costa de Morte” 2.2
- 2.2.3 Molino para moler granos 2.3
- 2.2.4 Molino para bombear agua 2.4
- 2.2.4 Molino salinero en San Pedro del Pinatar 2.5
- 2.2.5 Aerogeneradores de prueba en 1897 en el instituto de Askov Folk 2.6
- 2.3 Cola de molino 2.7
- 2.3 Dispositivo de orientación en forma de cazuela 2.8
- 2.4 Aspa con resortes en molinos de viento 2.9
- 2.5 Hélice aerodinámica 2.10
- 2.5 Perfil aerodinámico 2.11
- 2.6 Aerobomba MCT500 2.12
- 2.7 Primeros proyectos para cubrir necesidades agrícolas o industriales 2.13
- 2.7.3 Partes de un perfil aerodinámico 2.14
- 2.7.4 Descomposición de la fuerza aerodinámica 2.15
- 2.7.4 Flujo sobre un plano aerodinámico 2.16
- 2.7.4 Fuerzas actuantes sobre un plano aerodinámico 2.17
- 2.8 Casa habitación con un aerogenerador y paneles solares 2.18
- 2.8.1 Componentes de una instalación eléctrica con aerogenerador 2.19
- 2.9 Planta eólica 2.20
- 2.10.3 Parque eólico marino Vindely 2.21
- 2.11.1 Turbina Bonus capaz de producción 2MW en tierra o en mar 2.22
- 3.2 Aerogenerador que consta solo de las partes más esenciales 3.1
- 3.2 Diagrama de bloques de un aerogenerador 3.2
- 3.2 Los Perfiles de las aspas utilizados 3.3
- 3.2 Aspas señalando sus dimensiones 3.4

Lista de Símbolos y Abreviaturas

AC	Antes de Cristo
MW	Mega-watts
KW	kilo-watts
M	Metro
KM	Kilometro
V	Volts
Hz	Hertz
KM/H	Kilometro por hora
RPM	Revoluciones por minuto
M/S	Metro por segundo
KG	Kilogramo
CD	Corriente Directa
CA	Corriente Alterna
Ω	Ohms
P	Potencia
Vmax	Voltaje maximo
Vmin	Voltaje minimo

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Este trabajo se aborda el tema de la utilización de la energía eólica para la generación de electricidad, es importante concientizar a la gente que los combustibles fósiles no son renovables y generan una cantidad de contaminación importante. La energía eólica se considera como una energía verde ya que cualesquiera que sea su aplicación sólo afecta al medio ambiente en un mínimo porcentaje. Esta forma de generar electricidad se está haciendo muy popular, disminuyendo los costos y pronto estará al alcance de todas las familias la posibilidad de tener un aerogenerador alimentando los dispositivos que contamos en nuestro hogar.

1.1 Antecedentes

La energía eólica ya se usaba desde hace mucho tiempo atrás, los primeros datos conocidos datan desde el año 3000 A.C. en donde esta fuerza se utilizaba para mover grandes embarcaciones, los egipcios fueron los primeros en utilizar este tipo de energía, los fenicios y los romanos les siguieron.

Después de poco tiempo se empezaron a construir los molinos, los primeros molinos conocidos fueron hechos con madera y pedazos de tela que servían como captadores de viento, contaban con cuatro aspas.

Los primeros molinos fueron utilizados para la molienda de grano o extracción de aceites de algunos granos y extracción de aceites.

Lo que continuó fue la utilización de estos molinos no sólo para moler granos si no también para impulsar agua, estos primeros molinos aparecieron en Holanda y actualmente algunos de ellos siguen en funcionamiento.

Posteriormente los molinos se empezaron a utilizar para la producción de energía eléctrica, los primeros fueron creados por Poul la Cour (1846-1908), quien también fue pionero de la teoría aerodinámica, construyó varios aerogeneradores capaces de producir desde 5 a 25KW. Estos aerogeneradores eran capaces de alcanzar dos veces la velocidad del aire captado, mientras que los clásicos sólo lo hacían desde la magnitud del viento captado por sus aspas.

Años más tarde se realizaron proyectos importantes como lo fue la veleta, este dispositivo es usado para la reorientación el aerogenerador hacia donde sopla el viento, lo cual incrementa considerablemente su eficiencia. Otros dispositivos creados fueron las aspas con resorte que mantenía la velocidad de giro constante, frenos hidráulicos para detener el movimiento de las aspas y aspas aerodinámicas que incrementaban el rendimiento de los molinos con vientos débiles.

Hubo una etapa de decadencia de los aerogeneradores en el siglo XIX por consecuencia de las máquinas de vapor y en esa época se concentraron en desarrollos tecnológicos como el desarrollo de las aspas, mecanismos capaces de controlar automáticamente la velocidad del eje de rotación, frenos de aire y gobernadores centrífugos principalmente.

Años más tarde se desarrolla la teoría aerodinámica que ayudó a entender la naturaleza y el comportamiento de las fuerzas que actúan alrededor de las palas de las turbinas. Los países más interesados fueron Rusia, Alemania y Francia que utilizaron estos conocimientos para aplicarlos a la fabricación de las alas y hélices de los aviones. Después estos conocimientos se aplicaron en los aerogeneradores y se logró alcanzar velocidades 5 veces a las del aire incidente.

Pocos años más tarde vuelve a decaer la industria eólica ya que el petróleo se convirtió en la forma inmediata de producción de energía, fue hasta los años 80's en donde la industria eólica vuelve a resurgir y esta vez más fuerte que nunca.

Grandes inversiones se realizaron para la instalación de enormes campos eólicos capaces de generar una gran cantidad de energía.

Pronto se hacen instalaciones no sólo en tierra física si no también en el mar en donde la obstrucción de viento es mínima, instalaciones con una generación muy importante que cubriría gran parte de la generación eléctrica total de muchos países.

Estos últimos años la energía eólica se ha convertido en una fuente muy importante en la producción de electricidad, cada vez es más económico y posee un sin número de ventajas.

1.2 Objetivo

Diseñar y construir un prototipo de turbina eólica acoplado a un generador de corriente directa, él cual será monitoreado utilizando una computadora con la tarjeta de adquisición de datos VERNIER LAB PRO, el prototipo es completamente demostrativo de ninguna forma este diseño se utilizaría para uso doméstico u otro propósito es meramente para ver la factibilidad, ventajas de utilizar un alternador como generador.

1.3 Justificación

- La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles.
- Los costos son muy competitivos si se hace una comparación con los combustibles fósiles.
- La ventaja de instalaciones caseras que proporcionen suministro eléctrico suficiente para cubrir las necesidades del usuario.
- El manejo de la tarjeta adquisidora de dato VERNIER permitirá conocer sus variables de forma rápida y eficiente.
- El prototipo proporciona una idea de los parámetros a modificar para hacerse en una escala mayor y así poderse usar de forma doméstica u otro objetivo al que se le quiera someter.

1.4 Metodología

Primeramente se estudia la teoría aerodinámica para entender los fenómenos que ocurren cuando el viento golpea a las aspas, ya teniendo una noción amplia del tema, se debe estudiar la máquina a impulsar por las aspas que en este caso se estudiará las partes y el funcionamiento de un alternador de automóvil, por último se analiza los parámetros del prototipo y se estudia el programa LAB PRO 3.7 para este fin.

1.5 Contenido de la tesis

En el capítulo 1 se presenta una pequeña reseña histórica, objetivo, justificación, metodología.

En el capítulo 2 se describen los conceptos básicos, antecedentes de generación de Energía Eléctrica utilizando Energía Eólica.

En el capítulo 3 se realiza el diseño y construcción del prototipo Eólico. Se ilustrará de forma clara como se construyó paso a paso el prototipo eólico.

En el capítulo 4 se describe la instrumentación y experimentación del prototipo, cálculos teóricos, cálculos numéricos, comparaciones.

Finalmente en el capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones de este trabajo

Capítulo 2

Antecedentes

Energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas. El término eólico viene del latín *Aeolicus*, perteneciente o relativo a Eolo, dios de los vientos en la mitología griega.

2.1 ¿Cómo se produce el viento?

El viento es el movimiento del aire en la atmósfera, especialmente, en la tropósfera, producido por causas naturales. Se trata de un fenómeno meteorológico.

La causa de los vientos está en los movimientos de rotación y de traslación terrestres que dan origen, a su vez, a diferencias considerables en la radiación solar o (insolación), principalmente de onda larga (infrarroja o térmica), que es absorbida de manera indirecta por la atmósfera, de acuerdo con la propiedad diatérmica del aire, según la cual la radiación solar sólo calienta indirectamente a la atmósfera ya que los rayos solares pueden atravesar la atmósfera sin calentarla. Son los rayos de calor (infrarrojos) reflejados por la superficie terrestre y acuática de la Tierra los que sí logran calentar el aire. La insolación es casi la única fuente de calor que puede dar origen al movimiento del aire, es decir, a los vientos. A su vez, el desigual calentamiento del aire da origen a las diferencias de presión y esas diferencias de presión dan origen a los vientos.

2.2 Formas de utilizar la energía eólica

2.2.1 Energía eólica en la impulsión de barcos con velas

Hasta la aparición de la máquina de vapor en el siglo XIX, la única energía de origen no animal para realización de trabajo mecánico era la proveniente del agua o del viento. La primera y más inmediata forma de aprovechamiento de la energía eólica ha sido desde los tiempos más remotos aplicada a la navegación; las primeras referencias de la utilización de embarcaciones a vela proceden de Egipto y datan del IV ó V milenio antes de J.C.

En ella, la fuerza del viento se utiliza para impulsar un barco. Barcos con velas aparecían ya en los grabados egipcios más antiguos (3000 A.C.) la cual se muestra en la Figura 2.1. Los egipcios, los fenicios y más tarde los romanos tenían que utilizar también los remos para contrarrestar una característica esencial de la energía eólica, su discontinuidad. Efectivamente, el viento cambia de intensidad y de dirección de manera impredecible, por lo que había que utilizar los remos en los periodos de calma o cuando no soplaban en la dirección deseada. Hoy, en los parques eólicos, se utilizan los acumuladores para producir electricidad durante un tiempo, cuando el viento no sopla.



Figura 2.1 Gigante Preussen con todas sus velas desplegadas utilizando para su movimiento la energía del viento.

Otra característica de la energía producida por el viento es su infinita disponibilidad en función lineal a la superficie expuesta a su incidencia. En los barcos, a mayor superficie bélica mayor velocidad. En los parques eólicos, cuantos más molinos haya, más potencia en bornes de la central. En los veleros, el aumento de superficie bélica tiene limitaciones mecánicas (se rompe el mástil o vuelca el barco). En los parques eólicos las únicas limitaciones al aumento del número de molinos son las urbanísticas.

Otra forma de utilizar la energía del viento fue la creación de molinos principalmente en Europa.

2.2.2 Molinos de viento y su funcionamiento

El molino de viento aprovecha la energía eólica por medio de grandes aspas o paletas acopladas a un eje. Los tradicionales solían tener cuatro aspas en forma de cruz, las que llegaban a medir unos 11,5 metros de largo, y estaban compuestas de un esqueleto de madera recubierto por lona, la Figura 2.2 muestra un molino clásico de aquellos tiempos.



Figura 2.2 Molino de viento en “La Costa de Morte”

Las aspas se colocan en ángulo con respecto a la dirección de las corrientes de viento naturales, pudiendo girar en círculo aún cuando se encuentren perpendiculares a su fuente de energía. Algunas aspas eran directamente de lona, que se embolsaba con el viento. Hay quienes piensan que la idea de los molinos surgió observando las velas de los barcos. El eje giratorio puede conectarse a varios tipos de maquinaria para moler grano, bombear agua o generar electricidad.

Los molinos de viento fueron utilizados en Europa en la Edad Media, comenzando a extenderse por Grecia, Italia y Francia. Si el origen de las máquinas eólicas presenta notables incertidumbres, no menos lo hace su expansión por el Mediterráneo y por toda Europa. Según algunos autores, se debe a los cruzados la introducción de la tecnología eólica en Occidente, si bien otros opinan que Europa desarrolla su propia tecnología, claramente distinta de la oriental, ya que en Europa se imponen fundamentalmente los molinos de eje horizontal, mientras que los molinos orientales eran de eje vertical.

En China hay referencias de la existencia de molinos de rotor vertical y palas a base de telas colocadas sobre un armazón de madera, que eran utilizados para el bombeo de agua, máquinas conocidas como *panémonas*, precursoras de los molinos persas. El egipcio Hero de Alejandría representa en un estudio un molino de eje vertical de cuatro palas.

Sea cual fuese la forma de aparición de estas máquinas en diversos países europeos, lo cierto es que se encuentran abundantes ejemplos de la importancia que los molinos de viento llegaron a tener en diversas aplicaciones; citemos como ejemplo relevante los literarios molinos castellanos utilizados para la molienda y los no menos conocidos molinos holandeses usados desde 1430 para la desecación de los *polders*, todos ellos de eje horizontal.

Una idea de la importancia que en el pasado adquirió la energía eólica nos la da el hecho de que en el siglo XVIII, los holandeses tenían instalados y en funcionamiento 20.000 molinos, que les proporcionaban una media de 20 KW cada uno aproximadamente 400 MW en total.

Las aplicaciones de la energía eólica se extendieron a la industria del papel y los aserraderos., energía nada despreciable para las necesidades de aquella época.

2.2.3 Molinos para la molienda de grano

Las aspas, al girar por efecto del viento, mueven un árbol (barra, generalmente metálica) que transmite el movimiento a una rueda maestra dentada, cuyos dientes se engranan con otra rueda más pequeña llamada linterna, que gira en forma horizontal, arrastrando un grueso eje metálico cuadrado, que mueve una muela (volandera) aplastando el grano contra otra muela fija (solera), la Figura 2.3 muestra la instalación para moler granos.



Figura 2.3 Molino para moler granos

La arquitectura de estos edificios es simple. Se construyen con mampostería de piedra, con cubiertas de pizarra en lajas largas (refaldos) en los bordes y combinada con teja en el centro del tejado. Se construyen cerca del pueblo para cubrir la necesidad de harina y piensos de los vecinos. Los molinos son comunales y cada vecino lo utiliza durante algunos días, a la “roda”.

2.2.4 Molinos para bombear agua

Un procedimiento parecido, con transmisión de movimiento por un eje, se emplea para bombear el agua. La dificultad que presenta la utilización de los molinos de viento es la dirección variable de las corrientes, que hace necesario reorientar las aspas cada vez que cambia el viento. Cuando el eje se conecta a una carga, como una bomba, recibe el nombre de molino de viento, la Figura 2.4 muestra molinos para impulsar agua.



Figura 2.4 Molino para bombear agua

Los molinos de viento existían ya en la más remota antigüedad. Persia, Irak, Egipto y China disponían de máquinas eólicas muchos siglos antes de J.C.; Hammurab I. rey de Babilonia, 17 siglos antes de J.C. utilizó molinos accionados por el viento para regar las llanuras de Mesopotamia y para la molienda del grano. Se trataba de primitivas máquinas eólicas de rotor vertical con varias palas de madera o caña, cuyo movimiento de rotación era comunicado directamente por el eje a las muelas del molino.

. En el siglo XVI Holanda perfecciona el diseño de los molinos y los utiliza para el drenaje; entre los años 1609 y 1612, Beemster Polder fue drenado con la ayuda de estas máquinas.

En 1883 aparece el pequeño *multipala americano* diseñado por Steward Perry. Este molino, de unos 3 metros de diámetro utilizado para bombeo, ha sido el más vendido de la historia, llegándose a fabricar más de seis millones de unidades, de las que existen varios miles en funcionamiento.

No sólo utilizaron los molinos para drenar el agua, sino también para extraer aceites de semillas para salinas Figura 2.5, moler grano, aserradores de madera, fábricas de papel, así como para triturar todo tipo de materiales etc.; precisamente el nombre de molinos proviene de este tipo de aplicaciones.



Figura 2.5 Molino salinero en San Pedro del Pinatar

2.2.5 Molinos para producir electricidad

Como precursor de los actuales aerogeneradores, es necesario citar la aeroturbina danesa de Lacourt (1892), máquina capaz de desarrollar entre 5 y 25 KW.

Poul la Cour (1846-1908), que tuvo originalmente una formación como meteorólogo, fue el pionero de las modernas turbinas eólicas generadoras de electricidad. Poul la Cour fue uno de los pioneros de la moderna aerodinámica, y construyó su propio túnel de viento para realizar experimentos que se muestran en la Figura 2.6.



Figura 2.6 Aerogeneradores de prueba en 1897 en el instituto de Askov Folk, (Dinamarca)

Hasta ese momento, las velocidades típicas que se habían conseguido con los multipala eran de dos veces la del viento, mientras que los molinos clásicos habrían funcionado con velocidades en el extremo de la pala del mismo orden de magnitud que la del viento.

2.3 Sistemas de orientación

En 1745 se produjo un avance muy importante cuando E. Lee inventa un sistema para controlar automáticamente la orientación e inclinación de las aspas de los molinos de viento, de modo que se aprovechara mejor la dirección del viento aumentando con ello la eficiencia se puede observar en la Figura 2.7 este dispositivo. Se trataba del primer servomecanismo de posición. Fue patentado bajo el nombre de "Self-regulating Wind Machine". En esta patente se describen dos mecanismos:

El molinillo de cola, el cual no gira si no se encuentra en la dirección normal al viento, y por lo tanto no hace girar la cúpula del molino. Un variador automático del ángulo de ataque de las aspas. Con el que se podía regular la velocidad de giro de las aspas del molino.



Figura 2.7 Cola de un molino.

En este caso la gran ventaja es que no requiere de mecanismos complejos sino simplemente una cola y un sistema (cojinetes, rodamientos) para que el aerogenerador pueda girar en su eje vertical adaptándose a la dirección del viento impulsado por la fuerza de la cola.

Por lo que podemos apreciar que la simplicidad es su gran ventaja. Su principal inconveniente es sin embargo su peso. Además para que este sistema sea efectivo para los aerogeneradores medianos y grandes se deben colocar dos colas, incrementando aun más sus inconvenientes.

Otra forma de conseguir el mismo resultado sin tener que utilizar doble cola es poner una especie de cazuela a modo de cola la cual se puede observar en la Figura 2.8

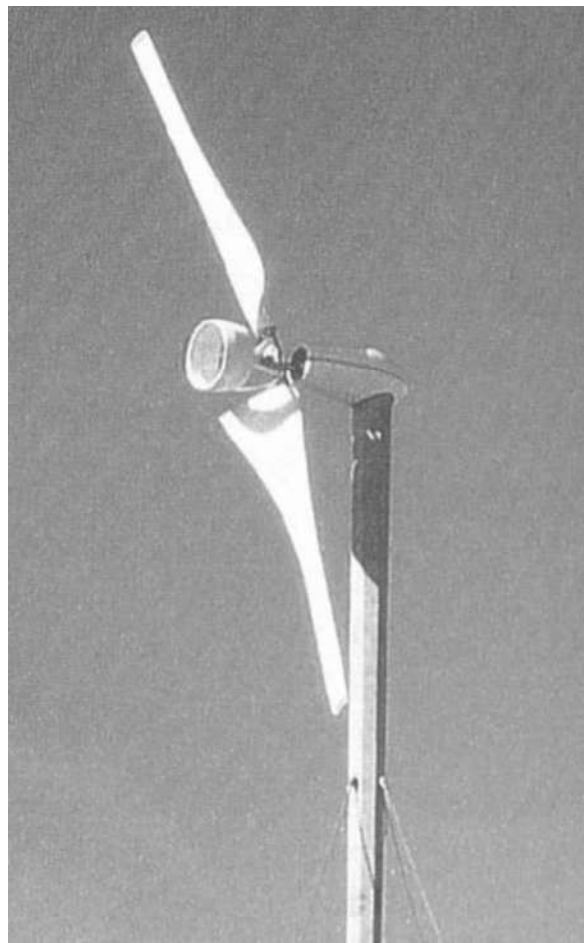


Figura 2.8 Dispositivo de orientación en forma de cazuela

La orientación por motor es el más utilizado en la actualidad. Para ello es necesaria una veleta que da la dirección del viento a un transductor y este a su vez a un motor eléctrico que hace girar la góndola del molino adaptándose al viento.

Como es imaginable el principal inconveniente de este sistema es su complejidad además del consumo de energía por el motor y los posibles fallos de funcionamiento de este. De hecho es una de las mayores fuentes de problemas por parte del mantenimiento del aerogenerador. Además hay que añadir los posibles errores debidos a los movimientos rápidos de la veleta y que esta puede deteriorarse.

2.4 Aspas con resortes

En 1772 se introdujo el aspa con resortes. Este tipo de aspa consiste en unas cerraduras de madera que se controlan de forma manual o automática, a fin de mantener una velocidad de giro constante en caso de vientos variables la Figura 2.9 muestra el dispositivo.



Figura 2.9 Aspa con resortes en molinos de viento

Otros avances importantes han sido los frenos hidráulicos para detener el movimiento de las aspas.

2.5 Hélices aerodinámicas

Se emplazaron a utilizar en aerogeneradores a principios del siglo XX por tener una velocidad de rotación ($u/v = 5$ a 7) que permitía acoplar el generador con poca multiplicación o simplemente en directo.

Funcionan por el mismo principio que permite volar a los pájaros: la sustentación y se muestran en la figura 2.10 un ejemplo de ellas.



Figura 2.10 Hélice aerodinámica.

Se utilizan preferentemente perfiles plano convexos por ser los más adecuados lo cual se puede observar en la figura 2.11.



Figura 2.11 Perfil aerodinámico.

La desventaja de estas hélices es que se deben hacer con más esmero y precisión que la múltipla. Se deben de equilibrar con mucho cuidado para que al girar la velocidad, no produzca vibraciones destructoras.

Otra desventaja de estas hélices es el poco par de arranque que tienen cuando están paradas. Cuando se acoplan hélices aerodinámicas, se debe construir el molino de modo que no exista apenas resistencia al arranque.

Entre los materiales más adecuados para la fabricación de hélices a nivel artesanal esta la madera y la fibra de vidrio. Los dos materiales son muy ligeros y resistentes a la fatiga.

2.6 Aerobombas

A finales del Siglo XIX los daneses habían conquistado el liderazgo tecnológico del recurso eólico y se estima que tenían instalados unos 10,000 molinos de viento (aproximadamente 1,000 MW). A mediados del siglo, D. Halladay introdujo las aerobombas en Estados Unidos.

Estas máquinas transforman la energía eólica en energía mecánica. Esto se consigue mediante un rotor que gira movido por el arrastre de la velocidad del viento. Vea Figura 2.12. Por medio de una transmisión de biela-manivela, se impulsa una bomba de pistón que a su vez eleva el agua.

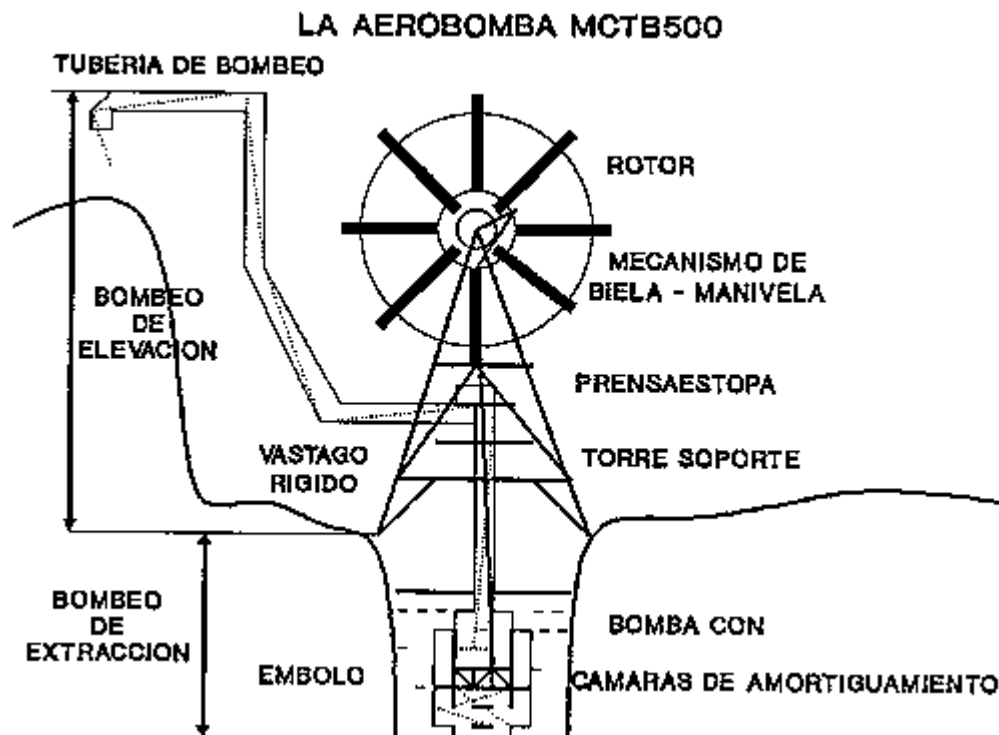


Figura 2.12 Aerobomba MCT500

. Posteriormente en 1883 S. Perry las fabrico en acero y su diseño fue copiado en todo el mundo ya que era barato y confiable aunque ineficiente.

2.7 Teoría Aerodinámica

La teoría de la aerodinámica se desarrolla durante las primeras décadas del siglo XX, permitiendo comprender la naturaleza y el comportamiento de las fuerzas que actúan alrededor de las palas de las turbinas.

Desde finales del siglo XIX y principios del siglo XX, los estudios sobre aerodinámica se desarrollaron de manera visible. Joukowski, Drzewieky y Sabinin en Rusia, Prandt y Betz en Alemania, y Constantin y Eiffel en Francia, determinaron los criterios de diseño que debían aplicarse en los perfiles aerodinámicos para la fabricación de alas y las hélices de los aviones.

Sólo después de las primeras décadas del siglo XX se tuvieron conocimientos suficientes para aplicarlos a los rotores eólicos. Los criterios de diseño de estos investigadores se ajustaron a las nuevas generaciones de turbinas eólicas. Prandt y Betz demostraron analíticamente que el rendimiento máximo de los rotores eólicos no podía sobrepasar 59,3 % (límite de Betz).

En los momentos actuales, los rotores más modernos no rebasan 45%, lo cual certifica la validez de aquellos estudios. Se demuestra, además, que los nuevos rotores, con diseño aerodinámico, debían girar a altas velocidades para alcanzar altos rendimientos.

El primer aerogenerador que se construyó provisto de palas con sección aerodinámica fue concebido por el holandés A. J. Dekker. Este aerogenerador fue capaz de alcanzar velocidades de punta de pala cuatro o cinco veces superiores a la del viento incidente.

En los molinos multipalas norteamericanos se habían conseguido velocidades máximas de punta de pala de dos veces la velocidad del viento. En los molinos clásicos era menor que la velocidad del viento incidente.

A pesar de los esfuerzos realizados y de la mayor eficacia de las nuevas turbinas, las dificultades de almacenamiento y las desventajas propias de la irregularidad de los vientos fueron la causa de que las aplicaciones basadas en el aprovechamiento del viento como recurso energético continuarán declinando hasta el final de la Primera Guerra.

Los combustibles fósiles, y en particular el petróleo, empezaban a imponerse como la principal e insustituible fuente de energía. Sin embargo, el petróleo presentaba un grave inconveniente al crear una dependencia entre los países consumidores y los productores, de forma que cuando el orden económico se veía alterado por alguna crisis y la dependencia energética se hacía patente, se adoptaban políticas de apoyo de los recursos autónomos, que se abandonaban una vez se superaba la crisis.

La primera de estas etapas fue una consecuencia inmediata de la Primera Guerra. Con una fuerte expansión de la electricidad como sistema energético universal y escasez de recursos para importar petróleo, las turbinas eólicas continuaron desarrollándose por dos caminos diferentes.

Por un lado, hacia el diseño, construcción y comercialización de aerogeneradores de baja potencia, capaces de generar electricidad en áreas rurales más o menos aisladas, a las que todavía no habían llegado las redes de electrificación.

Por otro, y a la sombra de una industria aeronáutica en pleno desarrollo, hacia el diseño y construcción de grandes plantas eólicas capaces de generar electricidad a gran escala.

Este apoyo a los recursos energéticos autóctonos, que comenzó inmediatamente después de la guerra, se mantuvo durante la década siguiente, como consecuencia de la política proteccionista adoptada por los países occidentales tras la crisis de 1929.

Durante este período fueron innumerables los trabajos realizados sobre plantas eólicas de gran potencia en Europa y USA, centrandos los programas eólicos su interés en aspectos diferentes como, la evaluación de los recursos disponibles, obtención y tratamiento de datos meteorológicos, elaboración de mapas eólicos y localización de emplazamientos, y el cálculo, diseño y construcción de plantas de gran potencia, a la vez que intentó crear incentivos que motivasen a la iniciativa privada a fabricar y comercializar pequeñas turbinas con funcionamiento autónomo, que permitiesen cubrir las necesidades de explotaciones agrícolas o industriales situadas en zonas apartadas los primeros aerogeneradores que se utilizaron para tal propósito se muestran en la Figura 2.13.

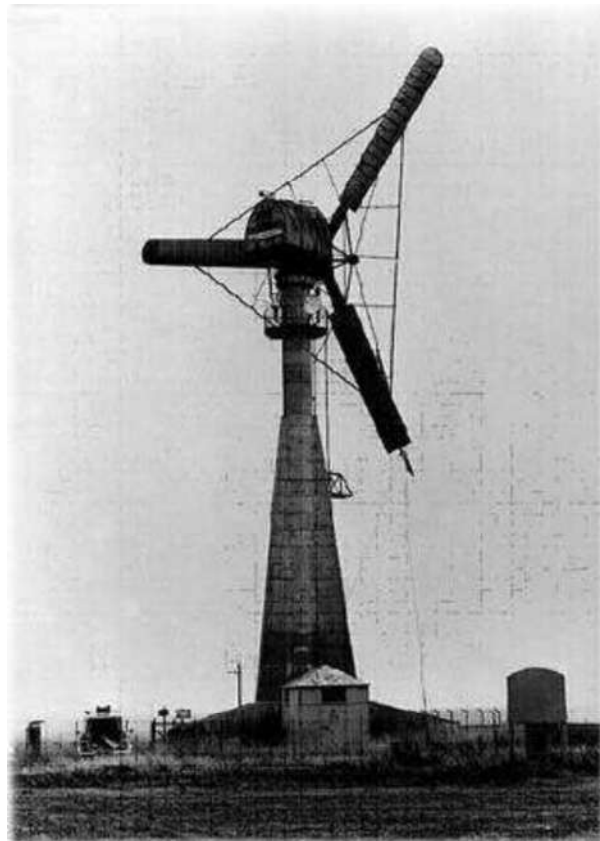


Figura 2.13 Primeros proyectos para cubrir necesidades agrícolas o industriales.

Dentro de los grandes proyectos, el Honnef alemán consistía en instalar torres de 300 metros de altura, con 3 ó 5 rotores de 150 metros de diámetro, capaces de generar 75 MW; aunque se realizaron estudios a pequeña escala, el prototipo de esta central fue destruido en una incursión aérea.

El anteproyecto Heronemus (U.S.A.) consistía en la construcción de estaciones eólicas compuestas por torres de 113 metros de altura con tres rotores de 73 metros de diámetro; se pensaba que con 1400 estaciones de este tipo, ubicadas en la costa se podría generar el 8% de la demanda eléctrica U.S.A.

Una vez finalizada la Segunda Guerra, y como consecuencia del período de escasez que siguió, los países europeos elaboraron programas nacionales para elegir los emplazamientos más adecuados donde deberían instalarse las grandes plantas eólicas que se proyectaban.

El segundo periodo de desarrollo de la energía eólica comienza en los años cincuenta y se prolonga hasta mediados de los sesenta en que, una vez restablecida la economía internacional, acaba perdiendo interés al no resultar sus precios competitivos con los de los combustibles fósiles convencionales, por lo que el bajo precio del petróleo, hasta 1973, cerró el camino al desarrollo de la tecnología eólica; a esta etapa siguió otra de precios del petróleo altos que se prolongó hasta 1986 y que favoreció el desarrollo de los aerogeneradores eólicos como fuente de energía alternativa, renovable y no contaminante, capaz de producir electricidad a precios competitivos.

2.7.1 Aerodinámica y sus principios

Primeramente la aerodinámica, es la rama de la mecánica de los fluidos que estudia las leyes que regulan el movimiento del aire y las reacciones que se desarrollan entre el aire y los cuerpos sólidos que se hallan en su interior cuando existe un movimiento relativo entre dichos cuerpos y el aire.

Estas relaciones dependen de las condiciones propias del aire, de la velocidad relativa de los cuerpos con respecto a él, de la superficie y forma exterior de dichos cuerpos, siendo independiente del peso de éstos.

Así mismo, la aerodinámica es el estudio de las fuerzas ejercidas por un gas sobre un objeto. Estas fuerzas se vuelven activas, cuando un objeto se mueve a través del aire (u otros gases). Es importante conocer estas fuerzas para poder diseñar aviones, barcos de vela, coches y otros objetos que se mueven rápidamente a través del aire. Los edificios, puentes y molinos de viento también son afectados por el viento que pasa junto a ellos.

La aerodinámica combina tres principios: la sustentación, el empuje (o propulsión) y el control.

La *sustentación* es la capacidad de elevarse en el aire.

El *empuje* es la fuerza que se necesita para moverse a través del aire.

El *control* es la habilidad de dirigirse hacia donde uno desee.

Las secciones rectas de las palas de las modernas aeroturbinas son perfiles aerodinámicos similares a los empleados por los aviones o en las palas de helicópteros. El motivo es que éstos perfiles presentan cualidades aerodinámicas que los hacen especialmente atractivos para el aprovechamiento de la energía eólica, ya que son elementos que presentan baja resistencia y alta fuerza sustentadora.

2.7.2 Longitud de las aspas

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

2.7.2.1 Número de palas.

Actualmente se tienen aeromotores de par de arranque elevado y los denominados rápidos.

a) *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 número de palas y al diámetro. Su rendimiento respecto al límite de Betz es pequeño, puesto que la velocidad de la punta de la pala está limitada, su diámetro máximo es de 8 metros.

b) *Aeromotores denominados "rápidos".* 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 máquinas que se construían antes eran generalmente tripalas, pero en la actualidad suelen ser bipalas. La siguiente Tabla 2.1 muestra algunas características

<i>Ventajas</i>	<i>Inconvenientes</i>
<p>Velocidades de giro muy altas que permiten rendimientos elevados.</p> <p>Máquina muy simple en particular por su tipo de regulación.</p> <p>Máquina más ligera y multiplicador más pequeño.</p> <p>Conjunto menos costoso.</p>	<p>Sensible a las vibraciones, es el principal inconveniente puesto que a igualdad de calidad la hélice bipala es menos resistente.</p> <p>Más ruidosa por la velocidad de giro, ya que la velocidad de la punta de la pala es más elevada.</p>

Tabla 2.1 Características importantes entre tripalas y bipalas

2.7.3 Perfil aerodinámico

Es la forma de la sección del ala, es decir lo que veríamos si cortáramos esta transversalmente "como en rodajas". Salvo en el caso de alas rectangulares en que todos los perfiles son iguales, lo habitual es que los perfiles que componen un ala sean diferentes; se van haciendo más pequeños y estrechos hacia los extremos del ala, este tipo de pala es conocida como cónica ó trapezoidal. A continuación se muestra en la Figura 2.14 el corte transversal de un ala y sus principales términos que la conforman las características de la misma, así como su descripción:

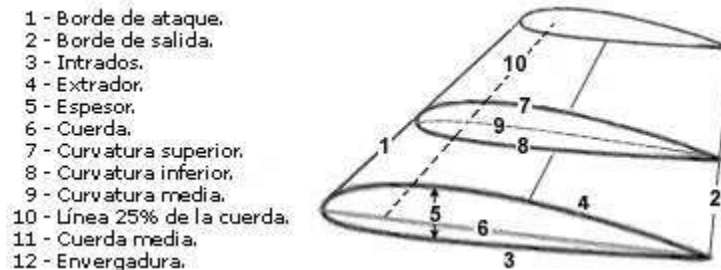


Figura 2.14 Partes de un perfil aerodinámico

a) Borde de ataque. Es el borde delantero del ala, o dicho de otra manera: la parte del ala que primero toma contacto con el flujo de aire.

a) Borde de salida. Es el borde posterior del ala; en otras palabras quiere decir: la parte del ala por donde el flujo de aire perturbado por el ala retorna a la corriente libre.

c) Intrados. Parte inferior del ala comprendida entre los bordes de ataque y salida.

d) Extradados. Parte superior del ala comprendida entre los bordes de ataque y salida.

e) Espesor. Distancia máxima entre el extradados y el intrados.

f) Cuerda. Es la línea recta imaginaria trazada entre los bordes de ataque y de salida de cada perfil.

g) Cuerda media. Como los perfiles del ala no suelen ser iguales sino que van disminuyendo hacia los extremos, lo mismo sucede con la cuerda de cada uno. Por tanto al tener cada perfil una cuerda distinta, lo normal es hablar de cuerda media.

h) Línea del 25% de la cuerda. Línea imaginaria que se obtendría al unir todos los puntos situados a una distancia del 25% de la longitud de la cuerda de cada perfil, distancia medida comenzando por el borde de ataque.

i) Curvatura. Del ala desde el borde de ataque al de salida. Curvatura superior se refiere a la de la superficie superior (extrados); inferior a la de la superficie inferior (intrados), y curvatura media a la equidistante a ambas superficies. Aunque se puede dar en cifra absoluta, lo normal es que se exprese en % de la cuerda.

j) Superficie alar. Superficie total correspondiente a las alas.

k) Envergadura. Distancia entre los dos extremos de las alas. Por simple geometría, si multiplicamos la envergadura por la cuerda media debemos obtener la superficie alar.

l) Longitud de la cuerda del perfil

La anchura de las palas no interviene en la potencia del aeromotor, que está en función de la superficie barrida. La anchura interviene en el par de arranque (que son dos fuerzas de igual magnitud y sentido opuesto, cuyas líneas de acción son paralelas pero no coinciden. Estas no producen traslación, el único efecto del par es la rotación) que será mayor cuanto más ancha sea la pala, pero para obtener velocidades de rotación elevadas se prefieren las palas finas y ligeras. Entonces el resultado será un compromiso entre estos dos factores.

2.7.4 Fuerza total aerodinámica

Una fuerza aerodinámica es generada cuando una corriente de aire fluye sobre y por debajo de un perfil. El punto donde esta corriente se divide se lo denomina "*punto de impacto*".

La Fuerza aerodinámica es la resultante de dos fuerzas que desempeñan un papel importantísimo, estas son, la sustentación y la resistencia al avance la descomposición de estas dos fuerzas se muestra en la Figura 2.15

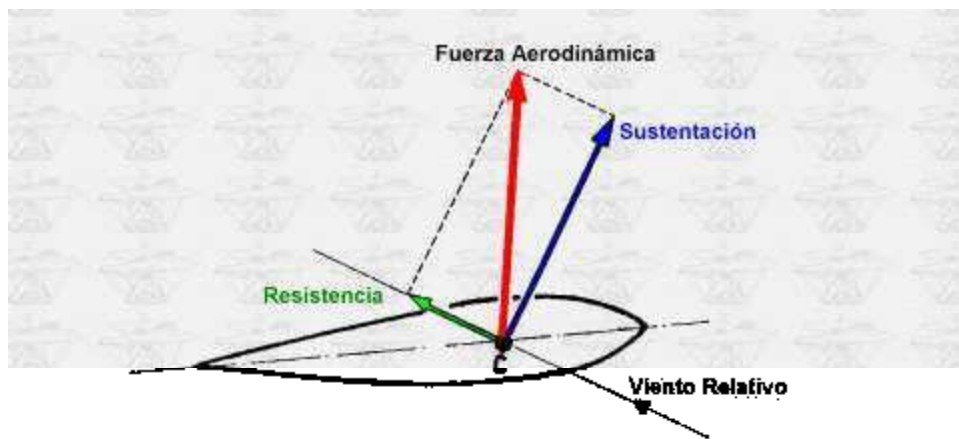


Figura 2.15 Descomposición de la fuerza aerodinámica.

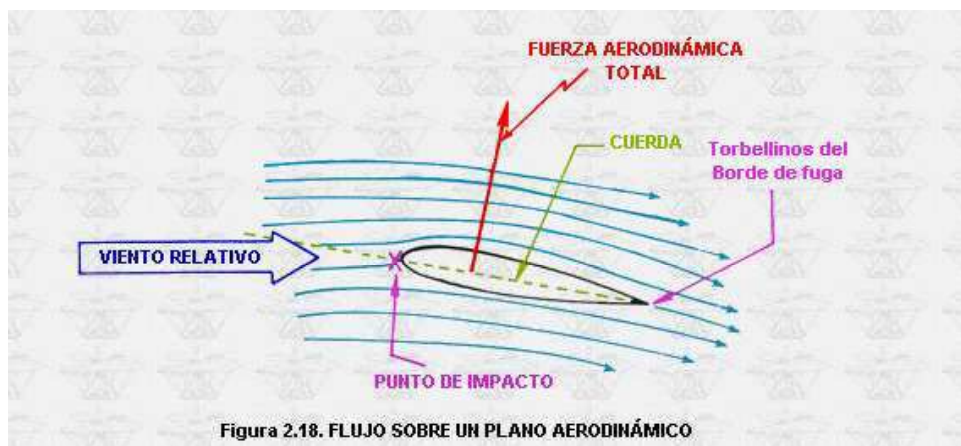


Figura 2.16 Flujo sobre un plano aerodinámico

Una presión muy alta se genera en el punto de impacto. Normalmente el área de alta presión se localiza en la porción más baja del perfil, dependiendo del ángulo de ataque. Esta área de alta presión contribuye a las fuerzas producidas por la pala.

La Figura 2.16 muestra también líneas que ilustran como el flujo de aire se desplaza por arriba y por abajo del perfil. El flujo de aire es deflectado hacia abajo, la Ley de Newton dice, "cada acción tiene una reacción opuesta", por lo tanto se generará una fuerza hacia arriba también. Esta fuerza se suma a la fuerza total aerodinámica. A muy bajos ángulos de ataque esta fuerza puede ser muy baja o nula.

La **fuerza total aerodinámica**, algunas veces llamada **fuerza resultante**, como ya dijimos, puede ser dividida en dos componentes véase la Figura 2.17, que son la sustentación y la resistencia. La sustentación actúa en forma perpendicular al viento relativo. La resistencia es la fuerza que se opone al movimiento de un cuerpo (perfil) en el aire.

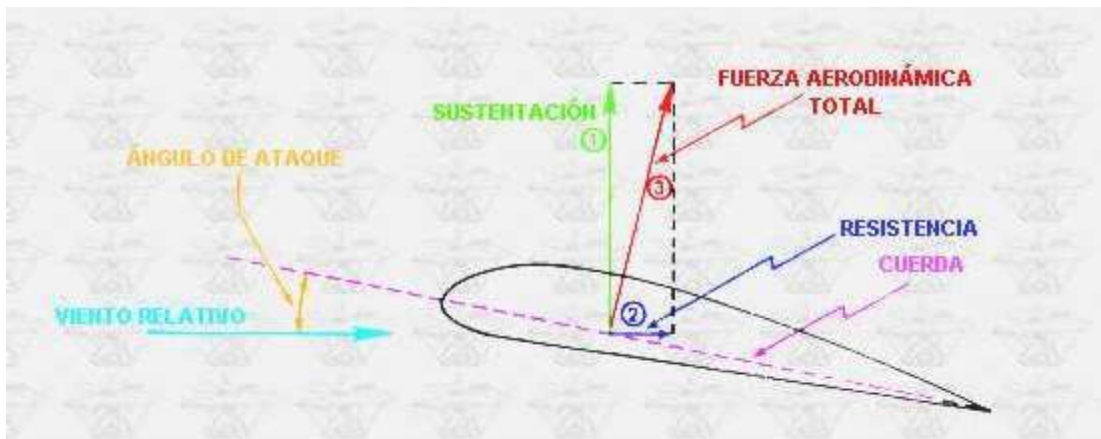


Figura 2.17 Fuerzas actuantes sobre un plano aerodinámico.

2.7.3.1 Sustentación

Muchos factores contribuyen a la sustentación total generada por un perfil. El incremento de velocidad causa un aumento de sustentación debido a la diferencia de presiones entre el extrados y el intrados. La sustentación se incrementa con el cuadrado de la velocidad.

La sustentación varía con la superficie que tenga la pala. Un área de 100 pies cuadrados generará el doble de sustentación que otra de 50. Por supuesto, el ángulo de ataque tiene su importancia en la generación de sustentación como así también la densidad del aire.

Normalmente, un aumento de la sustentación generará un aumento de la resistencia. Por lo tanto, cuando se diseña un perfil se toman en cuenta todos estos factores y se lo realiza para que tenga el mejor desempeño en el rango de velocidades en que se vaya a mover.

2.7.3.2 Resistencia

La resistencia aerodinámica de un perfil comúnmente llamada arrastre, es la componente paralela a la corriente incidente de las fuerzas de presión y fricción del flujo del aire sobre el perfil.

Desde un punto de vista aerodinámico, cuando un ala se desplaza a través del aire hay dos tipos de resistencia:

- (a) Resistencia debida a la fricción del aire sobre la superficie del ala.
- (b) Resistencia por la presión del propio aire oponiéndose al movimiento de un objeto en su seno.

La resistencia por fricción es proporcional a la viscosidad, que en el aire es muy baja, de manera que la mayoría de las veces esta resistencia es pequeña comparada con la producida por la presión, mientras que la resistencia debida a la presión depende de la densidad de la masa de aire.

Ambas resistencias crean una fuerza proporcional al área sobre la que actúan y al cuadrado de la velocidad. Una parte de la resistencia por presión que produce un ala depende de la cantidad de sustentación producida; a esta parte se le denomina resistencia inducida, denominándose resistencia parásita a la suma del resto de resistencias.

Observándose la siguiente relación:

- A mayor velocidad menor resistencia inducida.
- A mayor ángulo de ataque mayor resistencia inducida.
- A mayor velocidad mayor resistencia parásita.

2. 8 Instalaciones caseras utilizando aerogeneradores

Fiabilidad y un alto grado de eficiencia con vientos fuertes y de baja velocidad son características básicas en este tipo de instalaciones. Las centrales eólicas resultan un medio rentable y eficiente para generar energía eléctrica, una solución ajena a las subidas de precio de la electricidad y del gasóleo.

Las pequeñas instalaciones eólicas representan una óptima solución para abastecer viviendas independientes véase Figura 2.18, fincas rústicas o pequeñas empresas con un servicio paralelo a la conexión a red o ubicadas en regiones no conectadas a la red. En países meridionales, este tipo de instalaciones es capaz de generar la electricidad suficiente para surtir poblaciones enteras.



Figura 2.18 Casa habitación con un aerogenerador y paneles solares como fuente auxiliar

2.8.1 Componentes de una instalación eléctrica con aerogenerador

Los componentes básicos son el aerogenerador y alguna fuente alterna que cuando no haya suficiente aire para mover el aerogenerador otro sistema alterno pueda abastecer la vivienda en este caso se muestra paneles fotovoltaicos, en las terminales se tiene corriente continua la cual es conectada al regulador para tener un voltaje constante de ese punto se almacena la energía hacia las baterías esta energía a su vez es usada en la vivienda para cualquier dispositivo que maneje corriente directa también es dirigida hacia un inversor el cual tiene la tarea de convertir la corriente directa recibida en corriente alterna esta a su vez se conecta hacia el registro de la casa y de ese punto se distribuye a lo largo de la vivienda para su uso en aparatos eléctricos de corriente alterna. Los componentes se muestran en la Figura 2.19

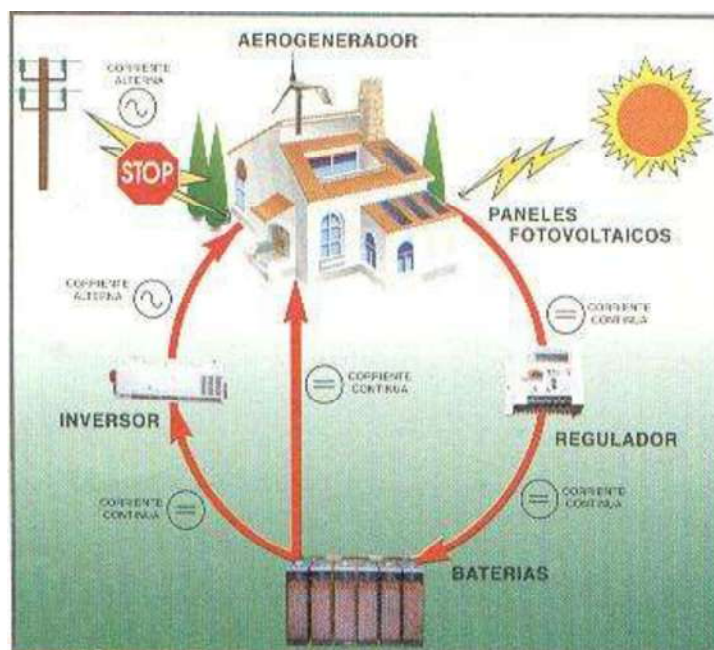


Figura 2.19 Componentes de una instalación eléctrica con aerogenerador

2.8.1.1 Utilización de la energía eólica para usos domésticos

En este caso el número y tipo de aparatos es muy diverso, aunque para usuarios acostumbrados a vivir en sentidos aislados puede establecerse una prioridad de necesidades en el orden que se da a continuación. Este orden tiene en cuenta criterios de control y no de consumo.

1. Iluminación de locales.
2. Suministro de agua corriente.
3. Refrigeración-Congelación.
4. Equipos musicales, receptores de radio y televisión
5. Pequeñas herramientas de taller y motores eléctricos (circulares de calefacción, por ejemplo).
6. Accesorios electrodomésticos.

Hay que resaltar que, excepto en emplazamientos muy favorables (lugares muy ventosos), no se considera la posibilidad de calefacción a partir de aerogeneradores.

Para satisfacer todas estas necesidades, existen dos tipos de aparatos:

- ✓ Los comerciales de gran difusión, y por tanto económicos, pero mal adaptados a esta utilización y con rendimientos bajos, y que normalmente se alimentan con corriente alterna de 220 V y 60 Hz.
- ✓ Los mejor adaptados, a menudo más robustos y caros, pero de difusión mucho menor.

2.9 ¿Cómo funciona una central eólica?

Las centrales eólicas utilizan la energía que posee el viento para transformarla en energía eléctrica gracias a unos enormes molinos.

La localización de las centrales eólicas, llamadas también parques eólicos, es de vital importancia. No pueden colocarse allí donde apenas sople el viento, y tampoco es conveniente colocarlas en lugares donde el viento pueda soplar con mucha fuerza, ya que podrían dañarse los molinos. Las mejores condiciones se dan en lugares en los que el viento sople de manera constante y con la fuerza suficiente para tener en movimiento las aspas del molino, lo que supone una velocidad del viento de entre 12 y 65 km/h, el la siguiente Figura 2.20 muestra los procesos que se llevan a cabo desde la captación de aire en las aspas del aerogenerador hasta los usuarios.

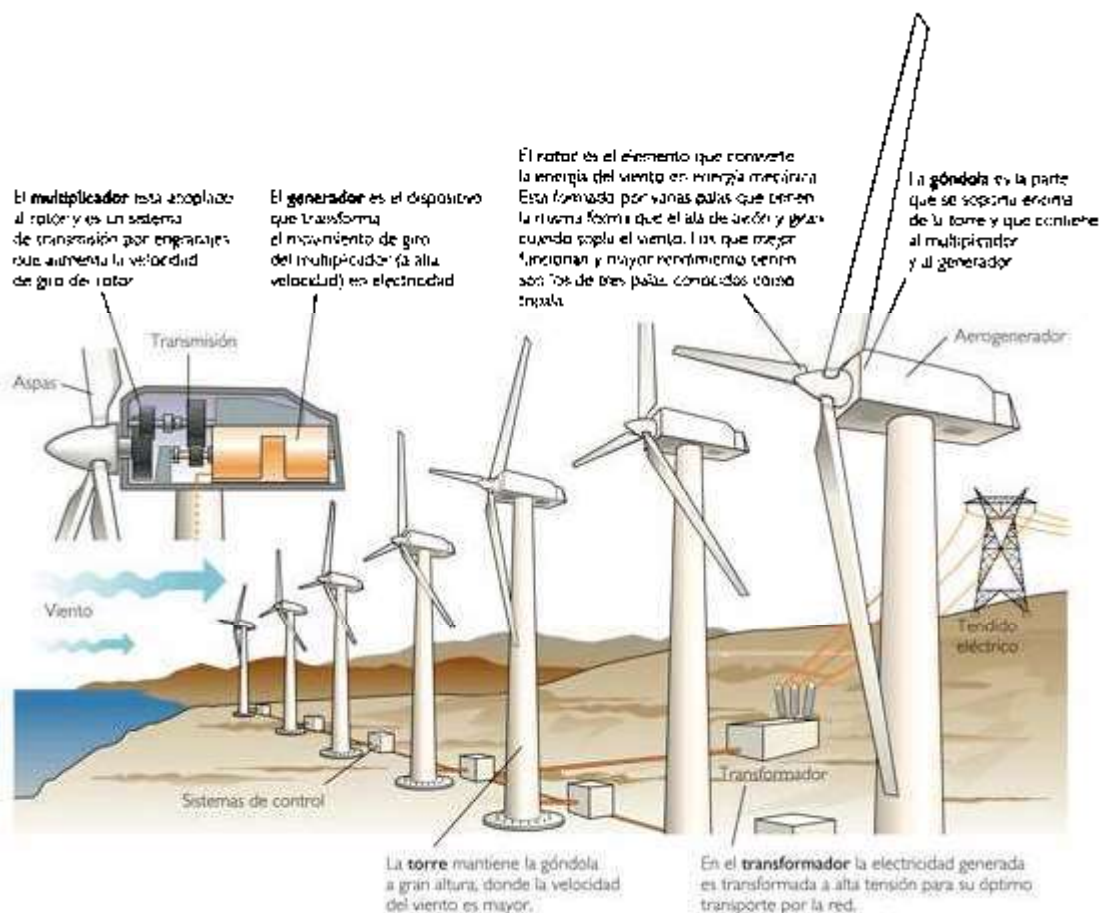


Figura 2.20 Planta eólica

2.10 Aerogeneradores Marinos

El principal desafío de la energía eólica en el mar son los costes de explotación: el cableado submarino y las cimentaciones han provocado que hasta hace poco la energía eólica marina fuese una opción cara.

Sin embargo, las nuevas tecnologías de cimentación y los generadores del orden de megavatios están a punto de hacer que la energía eólica en el mar sea competitiva con los emplazamientos terrestres, al menos en aguas de hasta 15 metros de profundidad.

Dado que generalmente la producción de los aerogeneradores marinos es un 50 por ciento mayor que la de sus vecinos en tierra (en terreno liso), el emplazar los aerogeneradores en el mar puede ser bastante atractivo.

El objetivo de este tipo de instalaciones sería doble. Por un lado aprovechar los potentes vientos que existen en alta mar, que al ser mucho más fuertes que los que existen en las costas llegarían a producir hasta el doble de energía que un aerogenerador corriente. Según sus inventores, este tipo de instalaciones podría llegar a aguantar la fuerza del viento de huracanes y ciclones, así como el oleaje producido por estos fenómenos.

2.10.1 Condiciones eólicas en el mar

Las superficies de mares y lagos son obviamente muy lisas, por lo que la rugosidad de la superficie marina es muy baja (a velocidades del viento constantes). Con velocidades de viento crecientes, parte de la energía se emplea en producir oleaje, lo que implica un aumento de la rugosidad. Una vez se han formado las olas, la rugosidad decrece de nuevo. Por tanto tenemos una superficie de rugosidad variable (lo mismo ocurre en zonas cubiertas con más o menos nieve).

Sin embargo, si generalizamos, puede considerarse que la rugosidad de la superficie del agua es muy baja y que los obstáculos del viento son pocos. Al realizar los cálculos deberán tenerse en cuenta islas, faros, etc. tal y como se tendrían en cuenta los obstáculos situados en la dirección de donde viene el viento o los cambios de rugosidad en la tierra.

2.10.2 Bajo cizallamiento del viento implica menor altura de buje

Con una baja rugosidad, el cizallamiento del viento en el mar es también muy bajo, lo que implica que la velocidad del viento no experimenta grandes cambios al variar la altura del buje del aerogenerador. Así, puede resultar más económico utilizar torres más bien bajas, de alrededor de 0,75 veces el diámetro del rotor, en aerogeneradores emplazados en el mar, dependiendo de las condiciones locales (normalmente, las torres de los aerogeneradores situados en tierra miden un diámetro de rotor, o incluso más).

2.10.3 Baja intensidad de las turbulencias igual a mayor tiempo de vida de los aerogeneradores.

El viento en el mar es generalmente menos turbulento que en tierra, por lo que en un aerogenerador situado en el mar se puede esperar un tiempo de vida mayor que en otro situado en tierra.

La baja turbulencia del mar se debe, ante todo, al hecho de que las diferencias de temperatura a diferentes altitudes de la atmósfera que hay sobre el mar son inferiores a las que hay sobre la tierra. La radiación solar puede penetrar varios metros bajo el mar mientras que en tierra la radiación solar sólo calienta la capa superior del suelo, que llega a estar mucho más caliente.

Consecuentemente, las diferencias de temperatura entre la superficie y el aire serán menores sobre el mar que sobre la tierra. Esto es lo que provoca que la turbulencia sea menor.

El parque eólico de Vindeby

En la costa del mar Báltico de Dinamarca, fue construido en 1991 por la compañía de servicio público SEAS. El parque eólico consta de 11 aerogeneradores Bonus de 450 KW con regulación por pérdida aerodinámica, y está situado entre 1.5 y 3 km al norte de la costa de la isla de Lolland, cerca del pueblo de Vindeby como lo puede mostrar la Figura 2.21



Figura 2.21 Muestra un parque eólico marino Vindely

Las turbinas fueron modificadas para permitir alojar grandes transformadores de alta tensión en el interior de las torres de las turbinas, y las puertas de entrada están situadas a un nivel más elevado de lo normal.

2.11 Aerogeneradores Multimegavolts

Las máquinas del tamaño de megavattios son ideales para las aplicaciones marinas, y para las áreas donde escasea el espacio para emplazarlas, ya que una máquina de un megavatio explotará mejor los recursos eólicos locales.

2.11.1 Bonus 2 MW

Tiene un diámetro de rotor de 72 metros. En este caso (Wilhelmshaven, Alemania), está montado sobre una torre de 60 m. La turbina está pensada para aplicaciones marinas, y dispone de un control de potencia "Combi Stall" véase Figura 2.22

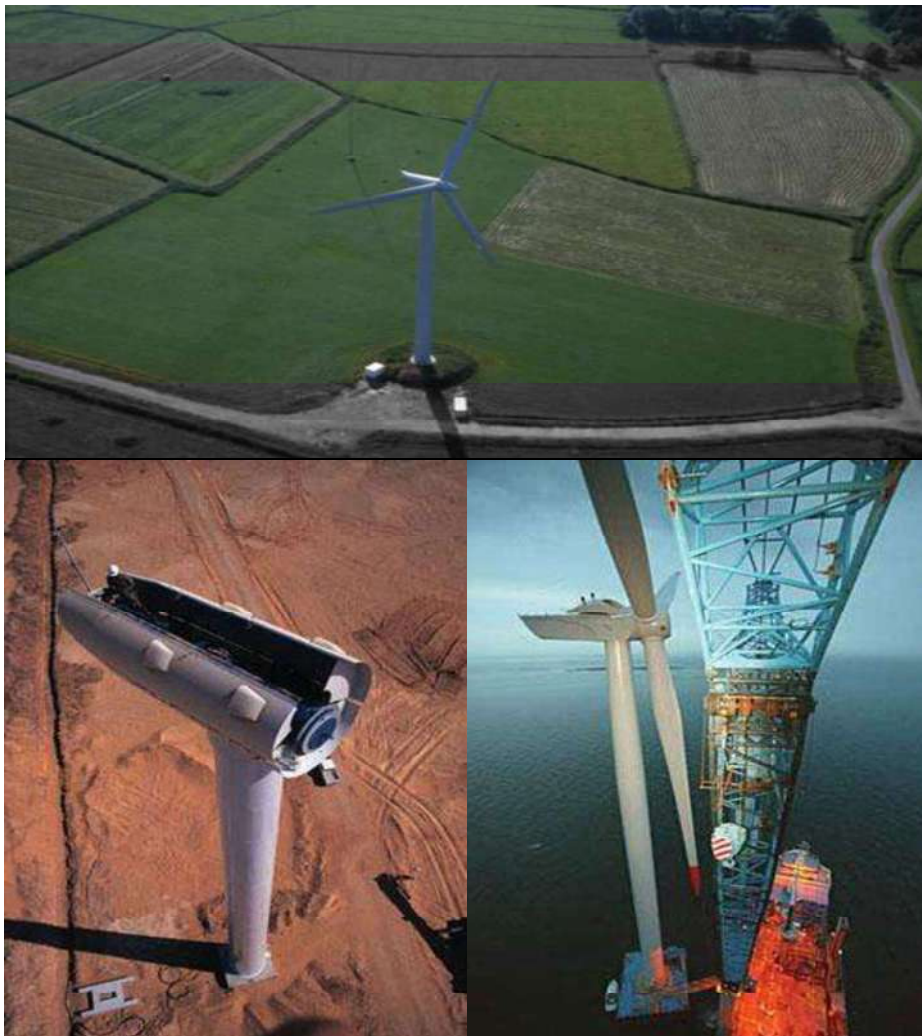


Figura 2.22 Turbina Bonus capaz de producción 2MW en tierra o en mar

2.12 Importancia de la energía eólica y su futuro

Según organizaciones, los parques eólicos marinos son una de las claves del futuro de la energía procedente del viento, por lo que el sector trabaja “intensivamente” en el desarrollo y la optimización de turbinas, equipos y logística para la producción desde el mar.

Actualmente existen instalaciones eólicas en las costas europeas con una potencia 680 megavatios y el sector espera que esta capacidad se amplíe hasta los 5,300 megavolts en los próximos cinco años.

En 2005 se construyeron en todo el mundo nuevas plantas eólicas, terrestres y marinas, con una potencia de 11,000 MW, lo que elevó en un 23 por ciento la capacidad de producción global de la industria eólica, hasta los 59,000 MW.

Este sector energético creció el año pasado un 16 por ciento en Europa y un 73 por ciento en el resto del mundo, especialmente en Estados Unidos, donde las capacidades de producción eólica se sextuplicaron en 2005, hasta alcanzar 2,431 MW.

En Europa, que aglutina el 69 por ciento de todas las instalaciones eólicas mundiales, Alemania es el mayor productor de esta energía y fabrica más de la mitad de todos los sistemas y componentes que se venden en el mundo.

Después de Alemania, España es el segundo mayor mercado eólico europeo, “favorecido por unas condiciones eólicas extraordinarias y por su larga costa atlántica y mediterránea”, señalaron los organizadores de WindEnergy.

En España el gobierno ha elevado las cifras de la potencia de todas las fuentes de cara al año 2011 y afirma que en ese año serán 13,000 MW y el origen del 9% de la energía eléctrica consumida. Más allá de ese año la Asociación Europea de la Energía Eólica le calcula una potencia instalada en el año 2020 y que generarán el 20% de la electricidad necesaria.

Este mismo informe se afirma que el tamaño medio de los aerogeneradores es de 1 MW, en 2007 será 1.3 MW y en 2012 serán 1,5 MW.

Según un estudio elaborado por los organizadores de WindEnergy, la industria eólica alcanzará una capacidad de suministro energético de 210,000 MW en todo el mundo en 2014, frente a los 59 mil actuales.

Las empresas sondeadas consideraron que la energía procedente del viento ganará terreno fuera de Europa en los próximos años, aunque nombraron como principales mercados de futuro a Alemania, Francia, España e Italia, además de Estados Unidos.

El presidente del recinto ferial de Hamburgo, Dietmar Aulich, afirmó que el aumento del uso de la energía eólica para la producción eléctrica, además de velar por el medio ambiente y los recursos, contribuirá a independizar los mercados energéticos nacionales y a asegurar el suministro en los países usuarios.

Capítulo 3

Diseño y construcción del prototipo eólico

En este capítulo se aborda la construcción de un prototipo eólico, usando para ello un alternador y palas hechas de madera. Este prototipo será monitoreado con la tarjeta adquisidora de datos VERNIER. Se mencionó en los capítulos anteriores los factores que se deben de tomar en cuenta para dicha construcción así como los pasos que hay que seguir para alimentar cargas eléctricas.

Un aerogenerador actual está compuesto por un aeromotor de dos o tres palas provisto de un sistema de regulación que proporciona al roto una velocidad de rotación estable a partir de una cierta velocidad del viento, y en ocasiones, un sistema de seguridad destinado a parar la máquina en caso de que el viento sople demasiado fuerte.

Para aprovechar la energía del viento, dispone de un generador eléctrico que puede estar:

- 1.- Directamente acoplado al aeromotor. En el caso más simple las palas van colocadas directamente al eje del generador.
- 2.- Acoplado a un multiplicador colocado entre el aeromotor y el generador: efectivamente se verá como la velocidad de giro depende directamente del diámetro del roto. Para tener un buen rendimiento del generador es necesario aumentar la velocidad de rotación obtenida por el aeromotor antes de acoplarlo al generador. Este puede ser una dinamo o un alternador, normalmente se usan los alternadores.

También ha de disponer de un mecanismo que permita a la máquina estar siempre orientada a la dirección del viento. La energía eléctrica producida se transmite desde de la parte orientable hacia a la parte fija del aerogenerador, solidaria a la torre de soporte, mediante un dispositivo colector asociado al mecanismo de orientación.

Todos los mecanismos asociados a la hélice se cubren con un carter que protege y une todas las partes del conjunto.

También es necesaria una cola, en caso de que la máquina funcione orientada hacia el viento, no obstante existen aerogeneradores que no la llevan, por lo tanto, de espaldas al viento.

Todo el conjunto se coloca sobre una torre tubular con la altura y la consistencia suficiente como para soportar el peso del aerogenerador y el empuje que realiza el viento sobre él.

3.1 Partes esenciales que componen un aerogenerador.

Los aerogeneradores se componen de:

3.1.1 La góndola

Contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico. El personal de servicio puede entrar en la góndola desde la torre de la turbina. A la izquierda de la góndola tenemos el rotor del aerogenerador, es decir las palas y el buje.

3.1.2 Las palas del rotor

Capturan el viento y transmiten su potencia hacia el buje. En un aerogenerador moderno de 600 KW. cada pala mide alrededor de 20 metros de longitud y su diseño es muy parecido al del ala de un avión.

3.1.3 El buje

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

3.2.4 El eje de baja velocidad

Conecta el buje del rotor al multiplicador. En un aerogenerador moderno de 600 Kw. El rotor gira muy lento, a unas 19 a 30 revoluciones por minuto (r.p.m.) El eje contiene conductos del sistema hidráulico para permitir el funcionamiento de los frenos aerodinámicos.

3.1.5 El multiplicador

Tiene a su izquierda el eje de baja velocidad. Permite que el eje de alta velocidad que está a su derecha gire 50 veces más rápido que el eje de baja velocidad.

3.2.6 El eje de alta velocidad

Gira aproximadamente a 1500 r.p.m. lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia. El freno mecánico se utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina.

3.1.7 El generador eléctrico

Suele ser un generador asíncrono o de inducción. En los aerogeneradores modernos la potencia máxima suele estar entre 500 y 1500 KW.

3.1.8 El controlador electrónico

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

3.1.9 La unidad de refrigeración

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

3.1.10 La torre

Soporta la góndola y el rotor. Generalmente es una ventaja disponer de una torre alta, dado que la velocidad del viento aumenta conforme nos alejamos del nivel del suelo. Una turbina moderna de 600 KW. Tendrá una torre de 40 a 60 metros (la altura de un edificio de 13 a 20 plantas).

Las torres pueden ser bien torres tubulares (como la mostrada en el dibujo) o torres de celosía. Las torres tubulares son más seguras para el personal de mantenimiento de las turbinas ya que pueden usar una escalera interior para acceder a la parte superior de la turbina. La principal ventaja de las torres de celosía es que son más baratas.

3.1.11 El mecanismo de orientación

Está activado por el controlador electrónico, que vigila la dirección del viento utilizando la veleta.

3.1.12 El anemómetro y la veleta

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

3.2 Propuesta de un prototipo eólico

En el presente trabajo se propone el siguiente diseño de aerogenerador que consta de las aspas, el alternador y la veleta. Este prototipo quiere resaltar el uso de un alternador de automóvil como alternativa para la generación de electricidad en comunidades lejanas.

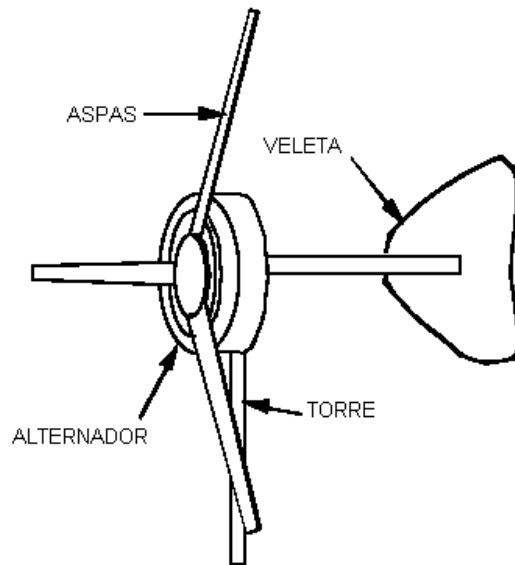


Figura 3.1 Aerogenerador que consta solo de las partes más esenciales

El diagrama de bloques mostrado en la figura 3.2 se puede observar en la siguiente figura, con esta ilustración se pueden apreciar con mayor claridad paso a paso los factores que intervienen en este prototipo.

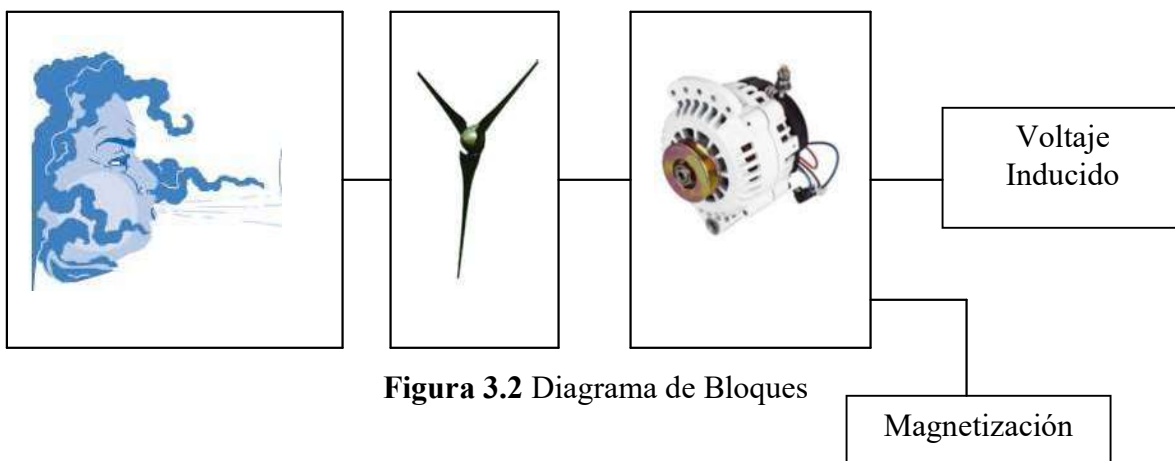


Figura 3.2 Diagrama de Bloques

3.3 Pasos a seguir en la construcción de un rotor

Las aspas son el factor más importante del aerogenerador es por eso que hay que tener extremo cuidado en su diseño.

- Se usa el siguiente diseño de aspas el cual se dibujó en hojas de papel para su fabricación véase Figura 3.3, estas plantillas delimitan con exactitud el contorno interior de las aspas.

Perfiles del rotor con 15 tramos

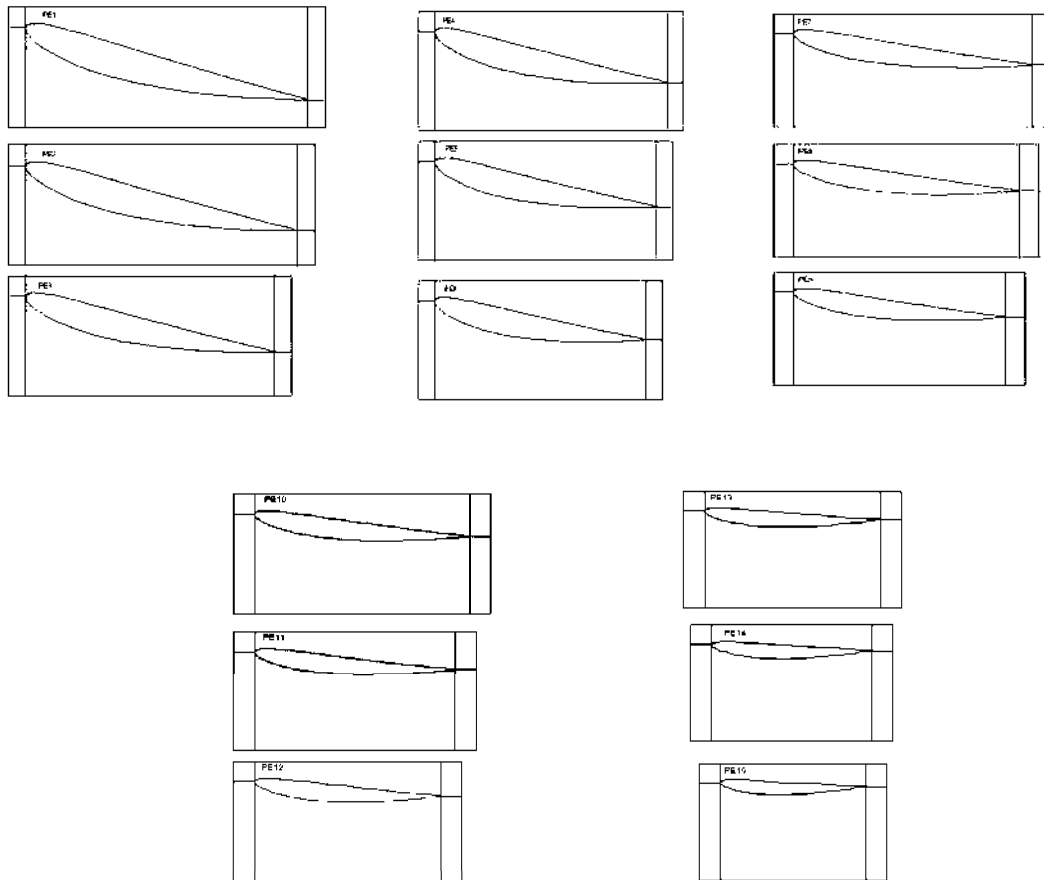


Figura 3.3 Los Perfiles de las aspas utilizados

A continuación se dan los pasos necesarios para el diseño de las aspas:

- Se fabrica un patrón tridimensional con la forma del aspa. Este patrón puede ser tallado en madera, aunque se puede emplear metal o espuma plástica.
- Se arma el rotor con las aspas.
- Finalmente hay que probar la robustez y balancear las aspas para que operen segura y satisfactoriamente. La Figura 3.4 muestra el aspa terminada.

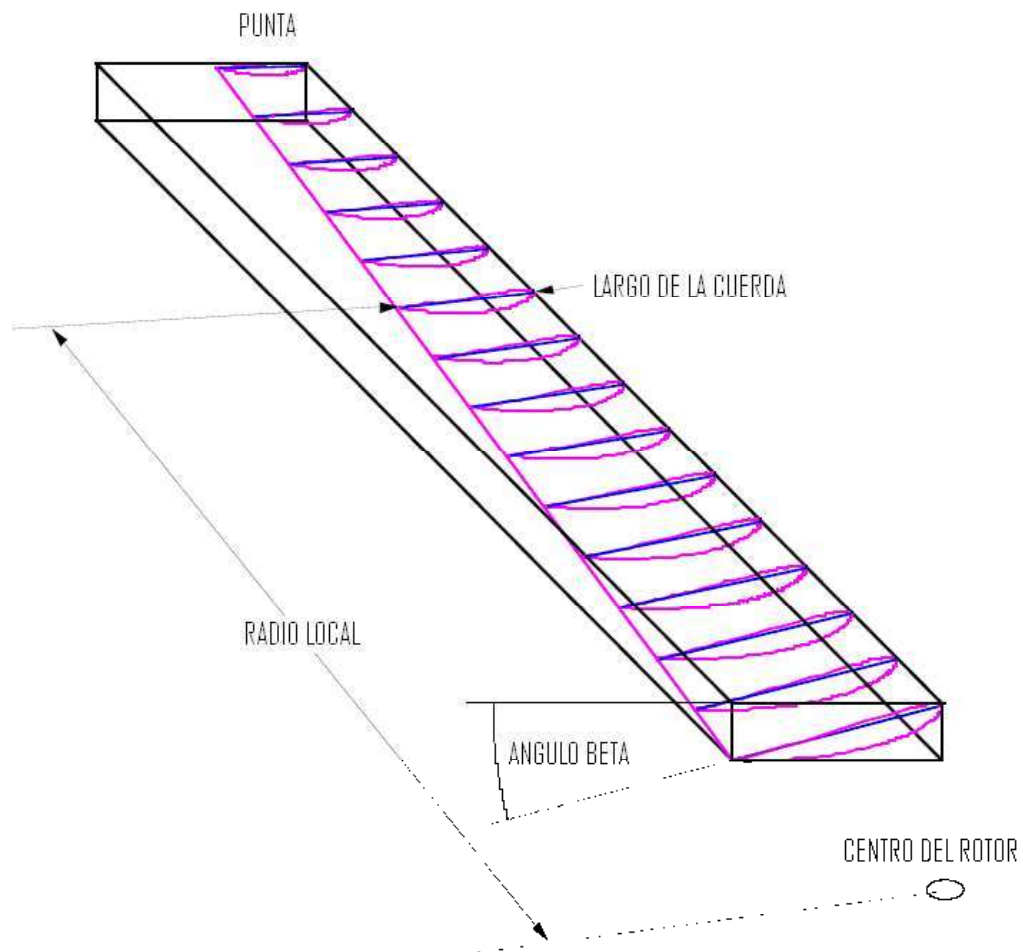


Figura 3.4 Aspas señalando sus dimensiones

3.3.2 Perfil del aspa

El perfil del aspa es la forma de su perfil (Cortado a 90 grados) véase Figura 3.5. El perfil NACA 4412 se fabrica en dos cáscaras pegadas dejando un espacio entre ellas.

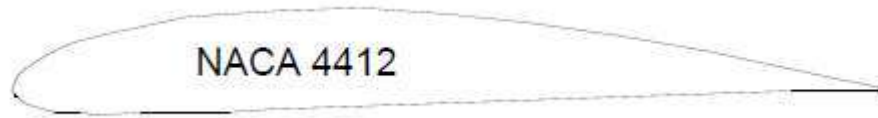


Figura 3.5 Perfil del aspa

En la construcción del aspa cada forma está definida en un número de tramos. Cada tramo tiene un radio propio, que es igual a la distancia del tramo al centro del rotor.

Para cada tramo hay una amplitud de cuerda que es el ancho del aspa en ese tramo. La línea de la cuerda es el ancho del aspa desde una punta a la otra. Esta línea es la más larga en el perfil del aspa y une el filo de ataque con el filo trasero del aspa.

3.3.3 Plantillas

Se seleccionó el diseño GIP peruano que consta 15 tramos, a continuación se nombran las partes de la plantilla en la figura 3.6

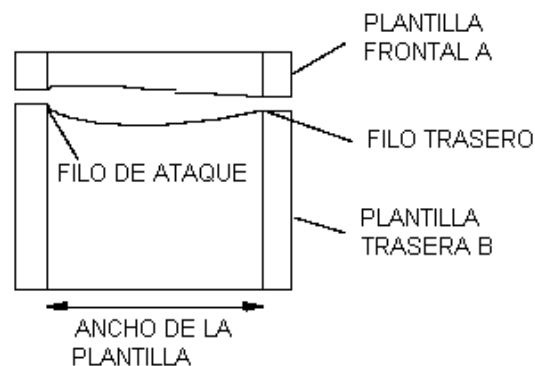


Figura 3.6 Plantilla y sus características

3.4 Construcción de las aspas

Para construir un molde de madera, se siguieron los datos siguientes:

- Se unió el filo de ataque con el filo trasero para facilitar la construcción en efecto de hacer esto es que se presentará un par de arranque bajo.
- Se adquirió un listón de madera. La madera debe estar perfectamente seca.
- Se marca la posición de cada tramo sobre la madera véase Figura 3.7

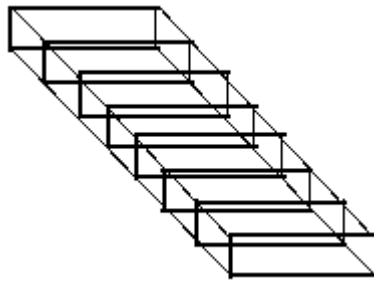


Figura 3.7 Primer paso marcación de cada plantilla

- Se trazaron dos líneas a lo largo usando en ancho de las plantillas y se corta la madera al ancho de la plantilla en cada tramo véase Figura 3.8

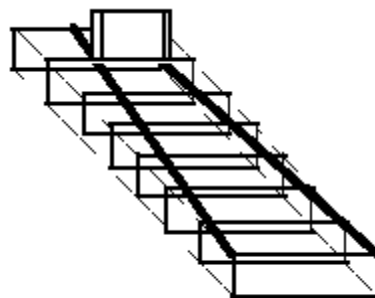


Figura 3.8 Segundo paso, el corte con ayuda del largo de cada plantilla

Las plantillas están hechas en medidas exactas y si debieron ser cortadas, marque ahora el espesor del aspa con ellas. Como la plantilla contiene por un lado el filo de ataque y por el otro el filo trasero del aspa, al colocar la plantilla sobre la misma base que sostiene el listón tendrá usted la ubicación de esos filos en los lados del listón véase Figura 3.9

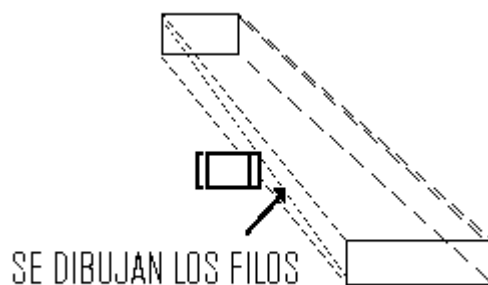


Figura 3.9 último paso, localizar los filos y desgastar

Ahora lo que queda es tallar la madera siguiendo cuidadosamente las líneas de las plantillas suavizándolas entre tramo y tramo.

3.4.1 Termino de la superficie

El término de la superficie es una importante característica porque la calidad de la superficie de las aspas dependerá de esto. Por lo tanto es recomendable usar alguna sustancia para eliminar las pequeñas imperfecciones de la madera después pulir la superficie hasta que se que la madera alcance una forma regular lo mas posiblemente véase Figura 3.10



Figura 3.10 Aspas Terminadas

3.5 Pruebas de Esfuerzo

Los esfuerzos más intensos de un aspa nacen de la fuerza centrífuga que desarrollan al rotar. Hay que considerar que esta fuerza en un aspa girando a 500 RPM puede ser hasta de 100 veces el peso del aspa. Si un aspa pesa 1.5 Kg. Esto significa que la fuerza centrífuga que desarrollará es equivalente a 150 kg.

Si la velocidad llega a estar por encima de esa cifra podemos llegar a tener pesos que superan ampliamente la fuerza de las raíces de las aspas fijadas al núcleo. Hay que disponer de un mecanismo que esquive esas grandes velocidades del viento véase Figura 3.11

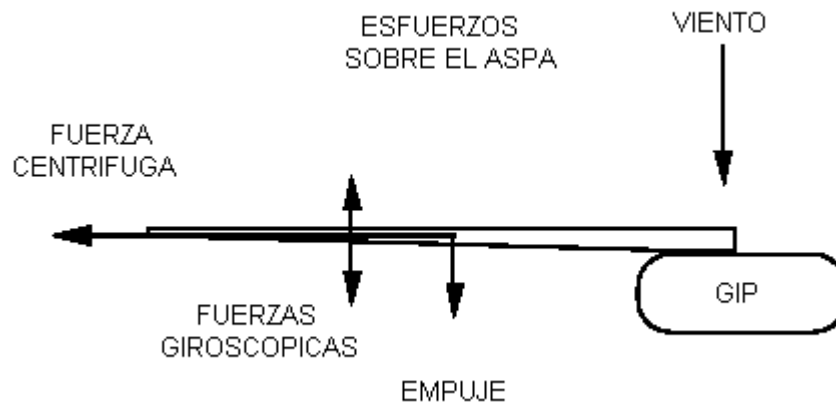


Figura 3.11 Prueba de esfuerzo de las aspas

Un aspa tiene la tendencia a quebrarse en los sitios donde las transiciones de curvas a aristas no se han logrado suavemente. Vigile la transición del aspa a su raíz.

3.6 Balanceo del rotor

Si el rotor no está balanceado, el generador vibrará. Con el tiempo esa vibración hará que se desprendan pedazos del mismo, siendo el primero la veleta.

Se apoya el núcleo del aspa a algún elemento y se pesa su punta. Todas las puntas de las aspas deben pesar lo mismo al ser colocadas de la misma manera. Será bueno fabricar una pieza que le permita fijar el aspa exactamente por el centro de su núcleo véase Figura 3.12

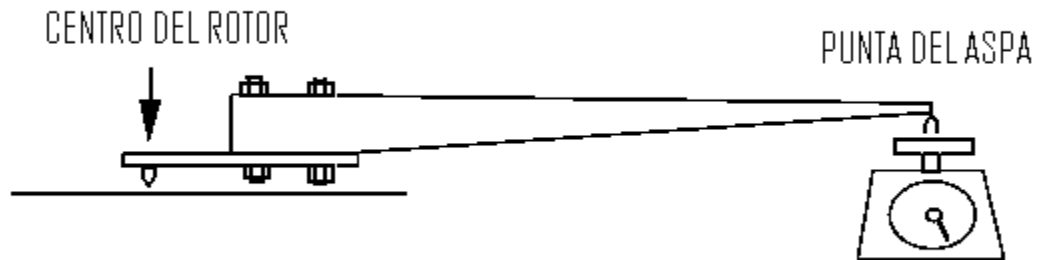


Figura 3.12 Balance de las aspas

Si se trata de un rotor de tres aspas, la distancia entre sus puntas debe ser igual si se trata de sólo dos aspas, su línea central debe pasar por el centro exacto del rotor véase Figura 3.12

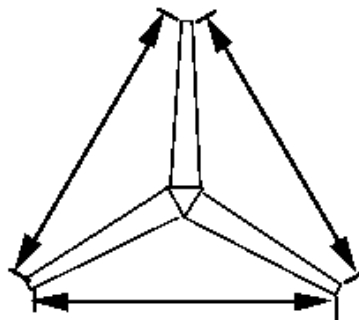


Figura 3.12 Distancia de las aspas a 120 °

3.7 Instalación de las aspas al Rotor

Las aspas deben quedar firmemente fijadas a un núcleo central que se coloca sobre el eje véase Figura 3.14



Figura 3.14 Forma del núcleo y su instalación

El semicírculo de unicel es para que haya simplemente mayor captación de aire en las aspas dirigiéndolo hacia ellas.

3.8 Termino del aerogenerador

Finalmente se obtuvo el prototipo del aerogenerador al acoplar el núcleo con el alternador, el unisel fue colocado con el propósito de dirigir el viento hacia las aspas, véase Figura 3.15 y Figura 3.16

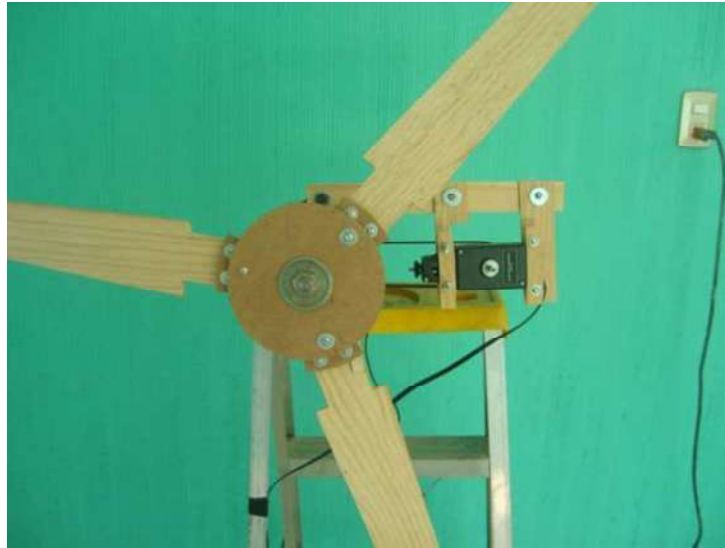


Figura 3.15 Termino del aerogenerador

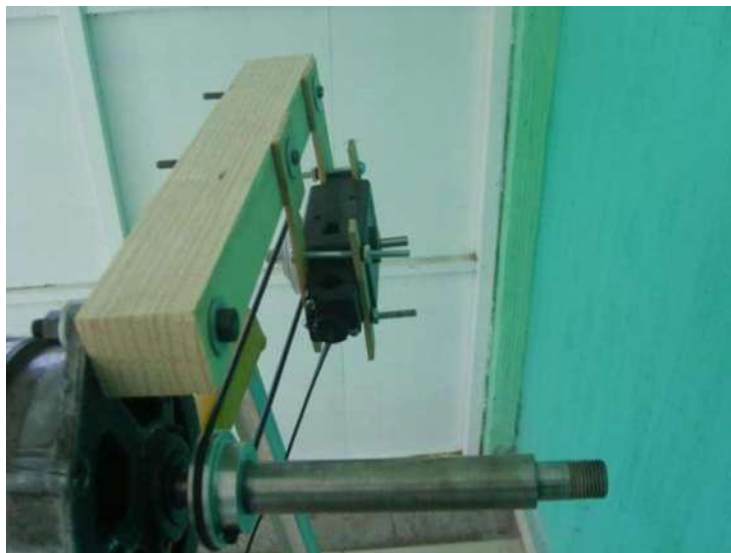


Figura 3.16 Muestra el acoplamiento y la polea para el sensor de velocidad

3. 9 Generador Eléctrico

Se propuso utilizar un alternador de automóvil el cual se acopla al rotor de las aspas, produciendo que se produzca un voltaje inducido en las terminales del alternador de corriente directa gracias a un arreglo de diodos rectificando la señal de salida esto es esencial porque se monitoreara con una tarjeta adquisidora de datos que solo maneja voltajes de CD, se utilizo un alternador de automóvil ya que es muy fácil de conseguir, por su bajo precio véase Figura 3.17



Figura 3.17 Alternador a utilizar

El **Alternador** es una máquina destinada a transformar la energía mecánica en eléctrica, generando, mediante fenómenos de inducción, una corriente alterna.

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 su valor del flujo que lo atraviesa.

Un alternador consta de dos partes fundamentales, el inductor, que es el que crea el campo magnético y el inducido que es el conductor el cual es atravesado por las líneas de fuerza de dicho campo magnético véase Figura 3.18

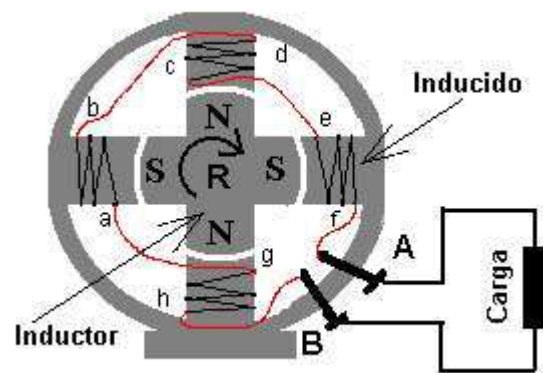


Figura 3.18 Partes fundamentales del alternador

3.9.1 Comprobaciones en el alternador

Como el alternador adquirido no fue nuevo debemos hacer ciertas pruebas para conocer su estado actual.

Antes de comprobar cada elemento del alternador de forma individual, deberá efectuarse una limpieza de los mismos, eliminando la grasa, polvo y barro sin usar disolventes simplemente frotándolo con un trapo. Durante el desmontaje se miraran que no existen roturas, deformaciones ni desgastes excesivos.

Antes de proceder a desmontar el alternador, primero hay que sacar las escobillas para facilitar el trabajo e impedir el deterioro de algún elemento. En la figura 3.19 se ilustra los componentes fundamentales de un alternador.

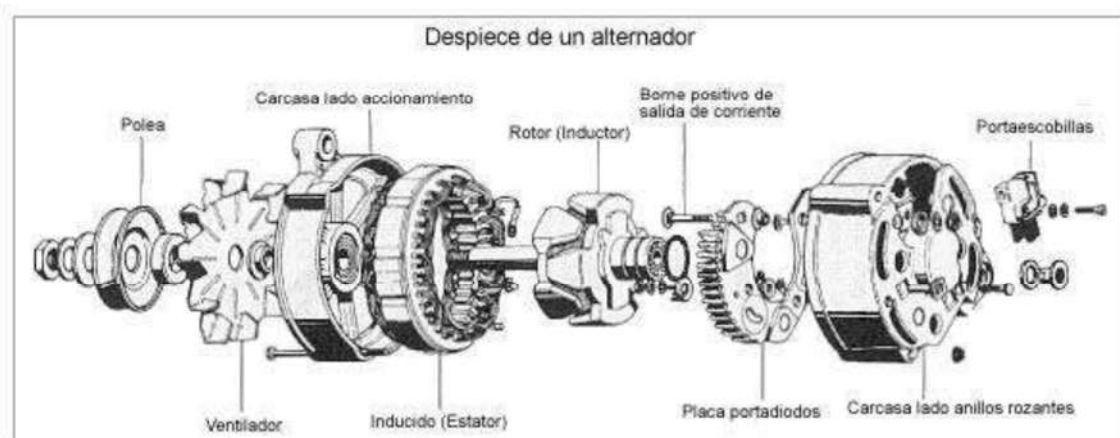


Figura 3.19 Partes de un alternador

3.9.2 Pruebas del rotor

Las pruebas esenciales al rotor de un alternador se enuncian a continuación:

1.- Comprobar la ausencia de grietas en el eje y en las masas polares, así como la ausencia de puntos de oxidación en los mismos. Las muñequillas de apoyo del eje sobre los rodamientos deben ofrecer buen aspecto y no presentar señales de excesivo desgaste en las mismas.

2.- Limpiar los anillos rozantes con un trapo impregnado en alcohol, debiendo presentar una superficie lisa y brillante. En caso de aparecer señales de chispeo, rugosidad o excesivo desgaste, deberán ser repasados en un torno.

3.- Por medio de un ohmetro, comprobar la resistencia de la bobina inductora, aplicando las puntas de prueba sobre los anillos rozantes y nos tendrá que dar un valor igual al preconizado por el fabricante (como valor orientativo de de 4 a 5 Ω). También se mide el aislamiento de la bobina inductora con respecto a masa es decir con respecto al eje para ello se aplica una de las puntas del ohmetro sobre uno de los anillos rozantes y la otra punta sobre el eje del rotor nos tendrá que dar una medida de resistencia infinita véase Figura 3.20

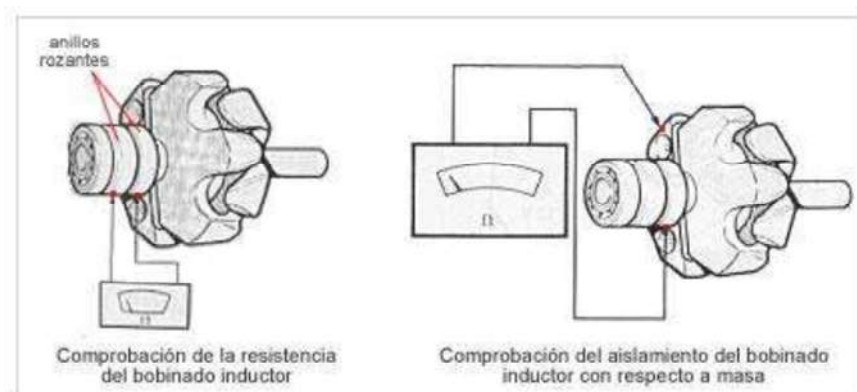


Figura 3.20 Comprobación del rotor

Si el valor de la resistencia obtenida está por debajo del valor especificado por el fabricante, indica que existe un cortocircuito entre espiras.

Si la resistencia es elevada, indica alguna conexión defectuosa de la bobina con los anillos rozantes, si el ohmetro no indica lectura alguna (resistencia infinita), significa que la bobina esta cortada. De darse cualquiera de estas anomalías, es conveniente cambiar el rotor completo ya que cualquier operación en el mismo es contraproducente para el buen funcionamiento de la maquina.

3.9.3 Pruebas del estator

Las pruebas al estator del alternador son las siguientes:

- 1.- Comprobar que los arrollamientos situados en el estator se encuentran en buen estado, sin deformaciones y sin deterioro en el aislamiento.
- 2.- Por medio de un ohmetro comprobar el aislamiento entre cada una de las fases (bobinas) y masa (carcasa).
- 3.- Por medio de un ohmetro medir la resistencia que hay entre cada una de las fases teniendo que dar una medida igual a la preconizada por el fabricante (teniendo que dar un valor orientativo de $0,2$ a $0,35 \Omega$) según el tipo de conexionado del arrollamiento (estrella - triángulo). Las medidas deben de ser iguales entre las fases no debiendo de dar una resistencia infinita esto indicaría que el bobinado esta cortado, véase Figura 3.21

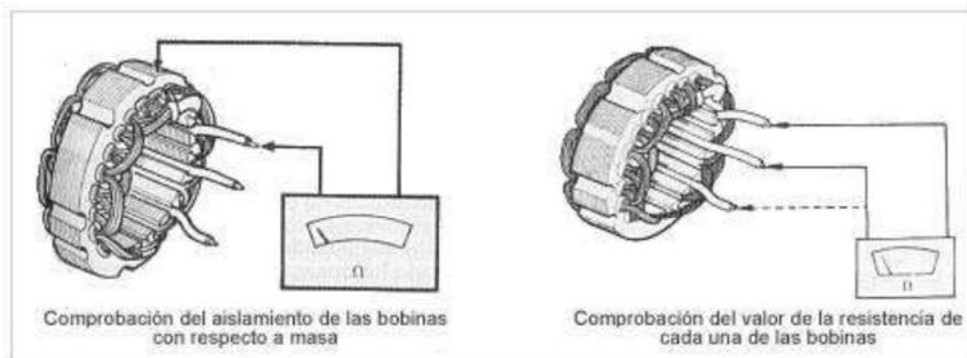


Figura 3.21 Comprobación del estator

3.9.4 Pruebas del puente rectificador

En la mayoría de los alternadores, el equipo rectificador está formada por una placa soporte, en cuyo interior se encuentran montados seis o nueve diodos, unidos y formando un puente rectificador hexadiodo o nanodiodo. Utilizándose para su comprobación un multímetro o ohmetro para comprobar los diodos, debiendo estar el puente rectificador desconectado del estator. Para la comprobación de los diodos se tiene en cuenta la característica constructiva de los mismos y es que según se polaricen dejan pasar la corriente o no la dejen pasar.

En diodos de cátodo base: conectar la punta de pruebas negativa del multímetro en la placa soporte y la punta de pruebas positiva a cada uno de los terminales aislados de los diodos, nos tendrá que mostrar el multímetro una medida de resistencia muy pequeña o próxima a cero esto indica que el diodo conduce (deja pasar la corriente eléctrica) en caso contrario si da una resistencia alta o infinita indica que el diodo está perforado. Si se invierten las conexiones conectando la punta de pruebas positiva al soporte y la punta negativa a cada uno de los terminales de los diodos aislados entonces el valor de resistencia debe ser alto o infinito sino es así indica que el diodo esta en cortocircuito véase Figura 3.22

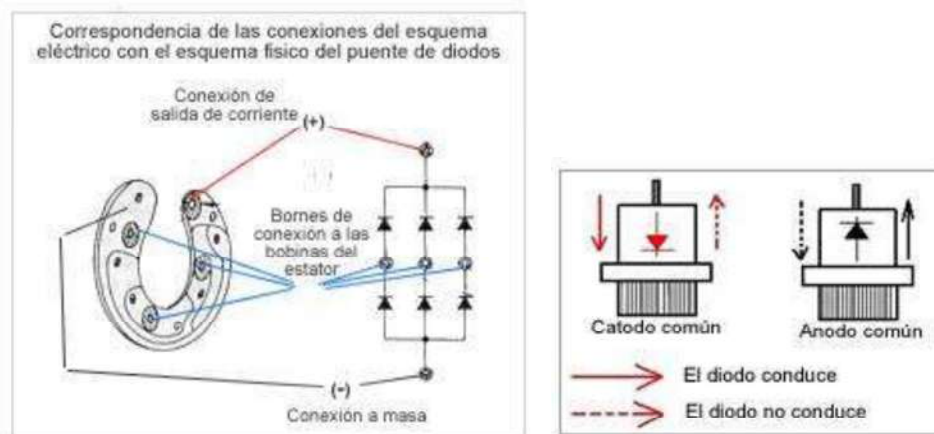


Figura 3.22 Comprobación de cátodo base.

En diodos de ánodo base: conectar la punta de pruebas del multímetro negativa al soporte y la punta positiva a cada uno de los terminales aislados de los diodos. En esta situación el multímetro nos tendrá que dar una resistencia muy alta o infinita (el diodo no deja pasar la corriente), en caso contrario indica que el diodo esta cortocircuitado. Si se invierten las conexiones punta positiva en la placa soporte y punta negativa en los terminales aislados de los diodos. En esta situación el multímetro tendrá que dar una resistencia muy pequeña o próxima a cero (el diodo deja pasar la corriente) en caso contrario indica que el diodo esta perforado.

Si después de hacer las comprobaciones sabemos que un diodo esta perforado o cortocircuitado, lo reemplazaremos por otro en caso de que se pueda desmontar, sino es así cambiaremos la placa soporte entera.

3.9.5 Comprobación de los diodos montados en el puente rectificador

Puente rectificador hexadiodo:

Conectar la punta de pruebas positiva de multímetro al borne de conexión de masa del puente y la punta negativa a los bornes de conexión de las bobinas del estator. En cada una de las pruebas la resistencia medida debe ser próxima a cero en caso contrario indica que el diodo está perforado.

Conectar ahora para comprobar los otros tres diodos, la punta de pruebas positiva a cada una de las conexiones de las bobinas del inducido y conectar la punta de pruebas negativa en el borne positivo de salida de corriente. En cada una de las pruebas la resistencia medida debe ser próxima a cero en caso contrario indica que el diodo está perforado.

Realizar nuevamente las dos comprobaciones anteriores pero invirtiendo las puntas de prueba, con lo cual en ambos casos el multímetro nos tendrá que dar un valor de resistencia muy alto o infinito sino es así indica que el diodo en cuestión está cortocircuitado, véase Figura 3.23

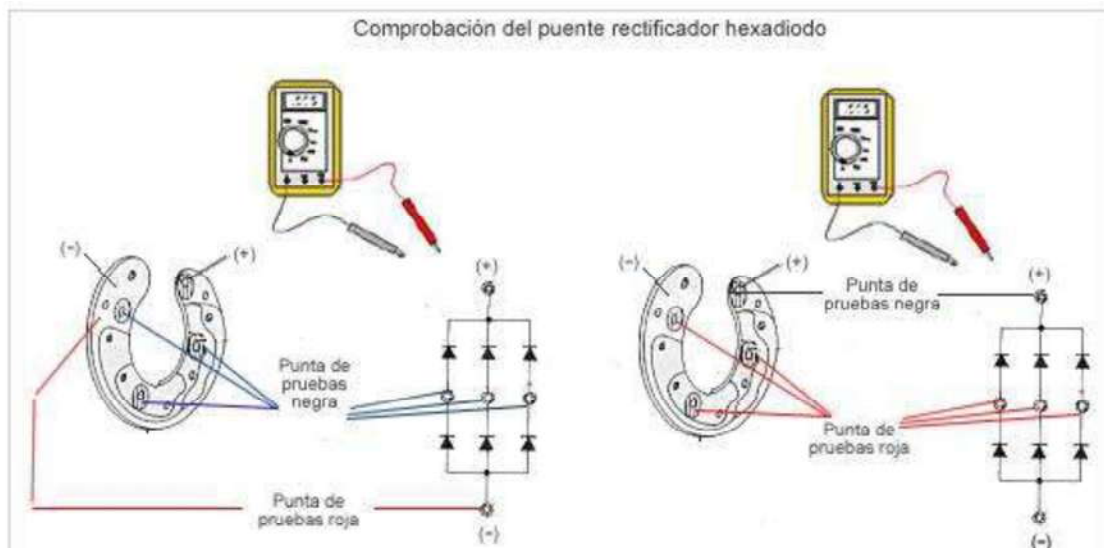


Figura 3.23 Prueba del arreglo rectificador hexadiodo

3.9.6 Comprobación de las escobillas

Comprobar que las escobillas se deslizan suavemente en su alojamiento del soporte y que el cable de toma de corriente no está roto o desprendido de la escobilla.

Comprobar que las escobillas asientan perfectamente sobre los anillos rozantes y que su longitud es superior a 10 mm; de ser inferior a esta longitud, cambiar el conjunto soporte con escobillas.

Con un multímetro, comprobar la continuidad entre el borne eléctrico de la porta escobillas y la escobilla, y además el aislamiento entre ambas con respecto a masa véase Figura 3.24

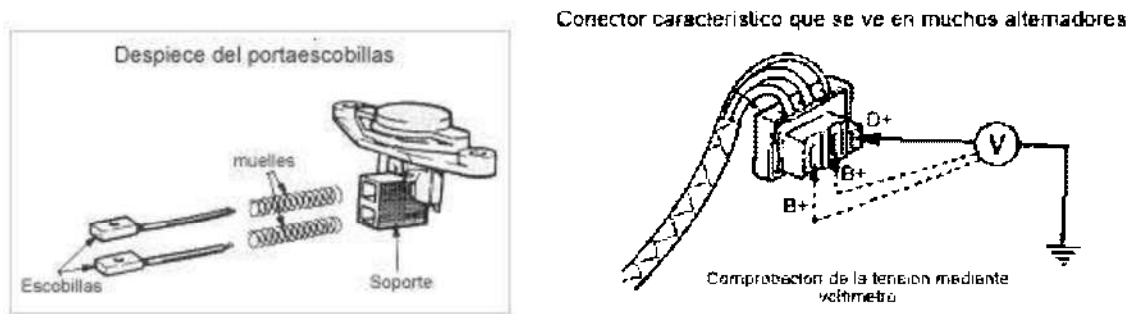


Figura 3.24 Prueba a las escobillas

Capítulo 4

Pruebas y Resultados usando la tarjeta VERNIER LAB PRO

4.1 Introducción

Una vez que el aerogenerador ha sido construido daremos paso a la realización de las pruebas básicas del mismo como son voltaje y velocidad. Para la realización de estas pruebas se utilizó una tarjeta de adquisición de datos Vernier LAB PRO con sensores de voltaje y velocidad para ver el comportamiento del alternador bajo el dominio de la fuerza del viento. La tarjeta de adquisición de datos se muestra la Figura 4.1



Figura 4.1 Tarjeta vernier y sus componentes

Esta tarjeta es de fácil uso muestra con claridad los resultados, se pueden hacer diversas pruebas del mismo en combinación con los sensores es una poderosa herramienta ingenieril lo único que se necesita es una computadora, una palm o una calculadora que soporta interfase vernier.

En nuestro caso se realizó la interfase hacia la computadora, el programa Logger PRO 3 se muestra en la siguiente Figura 4.2

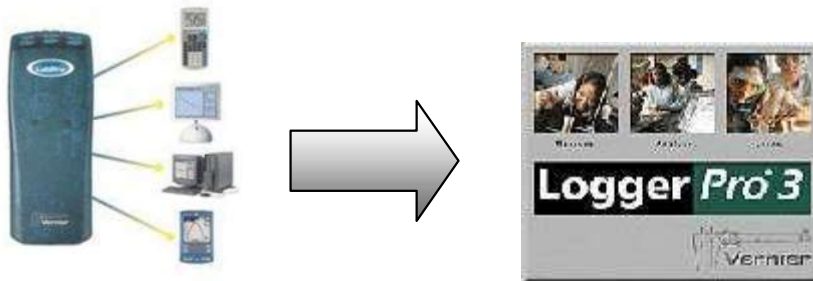


Figura 4.2 Conexión hacia la computadora y usando Logger PRO 3.7

4.2 Pruebas de Voltaje Inducido

Para las pruebas de voltaje inducido en el alternador se le retiró el regulador de voltaje a fin de obtener mayor velocidad y con ello mayor voltaje inducido, el regulador no interesa es por eso de dicha acción. Se puede observar en la figura 4.3 la conexión directa desde los carbones.



Figura 4.3 Muestra el retiro del regulador

Se utilizó una pequeña fuente para alimentar al campo, se alimento a diferentes voltajes para ver su respuesta en el inducido. La fuente se muestra a continuación en la siguiente figura 4.4

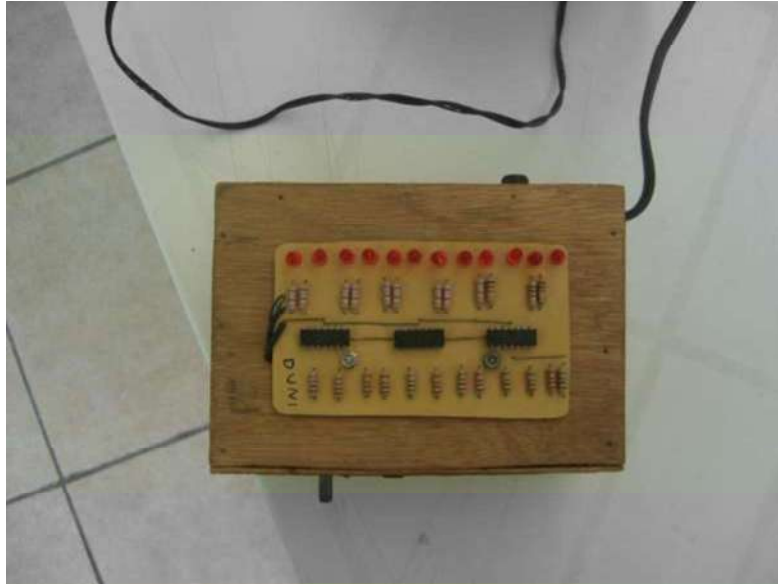


Figura 4.4 Muestra la Fuente de directa para alimentar al campo

Ya teniendo todo conectado, el campo alimentado con la fuente de directa se hizo las siguientes pruebas con un sensor de voltaje de entrada analógica. La conexión es muy sencilla sólo conectamos el sensor en la salida del alternador, este sensor se puede observar en la figura 4.5



Figura 4.5 Sensor de voltaje con un rango de -10 a 10V Max

4.2.1 PRUEBA No. 1

Utilizando un voltaje inducido a un voltaje de magnetización de 2 volts, el programa Logger PRO 3.7 es muy versátil en la figura 4.6 se puede mostrar con claridad el voltaje inducido que obtenemos así como las estadísticas Vmax, Vmin y el promedio.

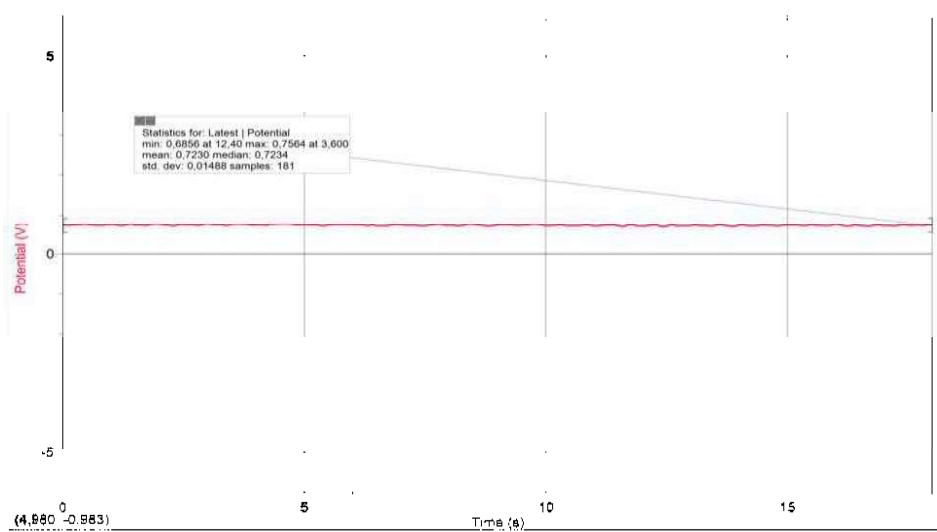


Figura 4.6 Voltaje inducido con un Max de 0.7564 Volts

4.2.2 PRUEBA No.2

Utilizando un voltaje inducido a 5 volts de voltaje de magnetización, se observa como baja el voltaje, esto se debe a que es mayor el voltaje de magnetización. En la figura 4.7 se muestra la grafica correspondiente a esta prueba

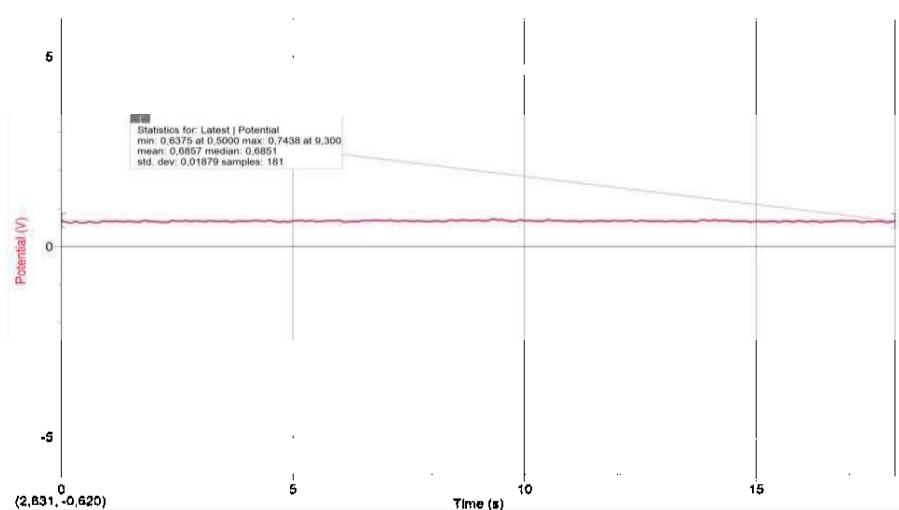


Figura 4.7 Voltaje inducido con un Max de 0.7438 Volts

4.2.3PRUEBA No. 3

Mediante un voltaje inducido a un voltaje de magnetización de 8 volts, en la figura 4.8 se puede observar que baja aun mas el voltaje todo esto se debe al aumento del voltaje de magnetización que existe en el núcleo, por lo tanto se requiere de una mayor fuente de energía para seguir moviendo el eje y por lo tanto tener un aumento de voltaje inducido útil.

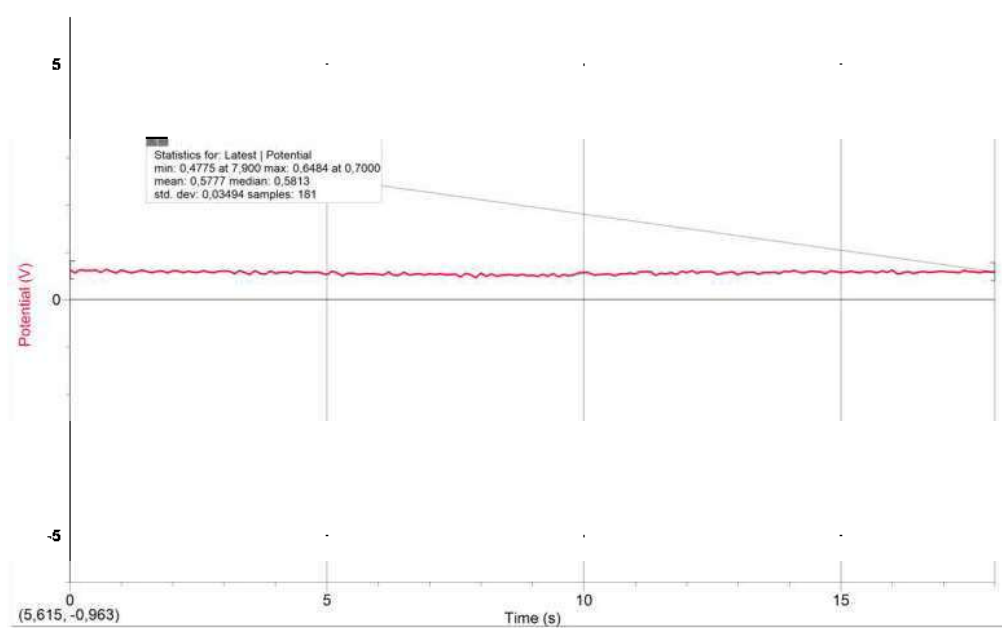


Figura 4.8 Voltaje inducido con un Max de 0.6484

La siguiente figura 4.9 muestra el resultado de los voltajes inducidos como se puede observar al magnetizar con 8 volts el núcleo se tensa lo cual hace bajar la velocidad del alternador y por consiguiente se tiene mejor voltaje inducido.

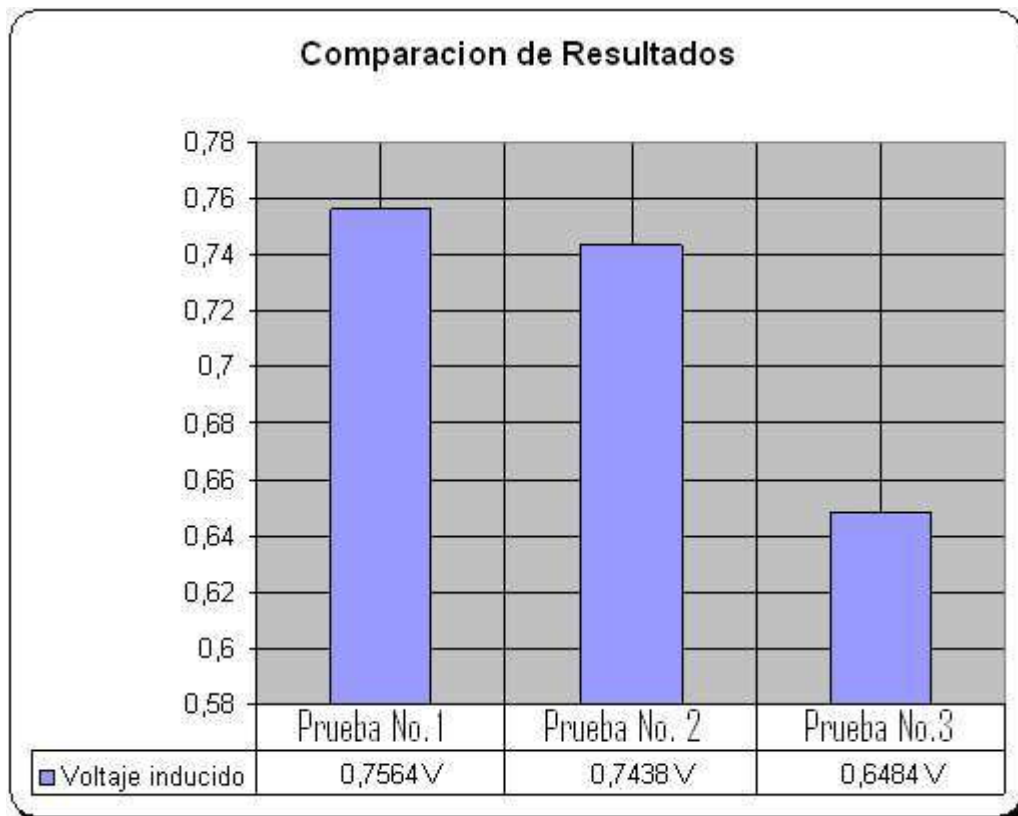


Figura 4.9 Muestra el voltaje inducido

4.3 Pruebas de Velocidad

Es importante conocer la velocidad ya que es un parámetro que está ligado hacia la potencia del alternador y a su vez la eficiencia del mismo.

Las pruebas de velocidad se realizaron con un sensor de velocidad mecánico acoplado al eje del rotor esto se puede ver en la figura 4.9, se diseñó una polea del mismo tamaño de la del sensor para poder transmitir el movimiento del rotor impulsado por las aspas hacia el sensor.



Figura 4.9 Muestra la polea

Este sensor sólo puede girar al opuesto del sentido del movimiento de las aspas por lo que se tuvo que montar un arreglo, se prolongo el eje del alternador para que no obstaculizara o golpeará con las aspas esto se observa en la figura 4.10.



Figura 4.10 Muestra la extensión del eje del rotor

Se montó el sensor y se acoplo con una banda muy delgada, con el aumento del eje del alternador se gano más vibración pero fue mínima, es recomendable que la polea del eje este bien sujeta en este caso se utilizó compresores. En la figura 4.11 se observa el soporte del sensor.



a)



b)



c)

Figura 4.11 Montaje del sensor de velocidad a) muestra lado frontal; b) lado trasero; c) muestra por completo el acople

El sensor se muestra en la siguiente figura 4.12. Este sensor puede tomar muestras de velocidad angulares, aceleración, velocidad lineal, inercia entre otras cosas más, en este caso tomamos muestras de revoluciones por segundo.



Figura 4.12 Sensor utilizado en las pruebas de velocidad

4.3.1 Experimento No. 1 a 2 volts de magnetización

Esta prueba es para conocer la velocidad y aceleración que puede experimentar un aerogenerador a diferentes voltajes de magnetización. Las pruebas se muestran continuación, los datos se proporciona el programa son velocidad mínima, velocidad máximo, promedio, aceleración mínima, aceleración máxima y su promedio

La Figura 4.13 Muestra la aceleración que va sufriendo mientras el transitorio de un periodo de 0 segundos a 30 segundos. Se puede observar que la velocidad fue incrementándose al paso del tiempo hasta llegar al estado estable.

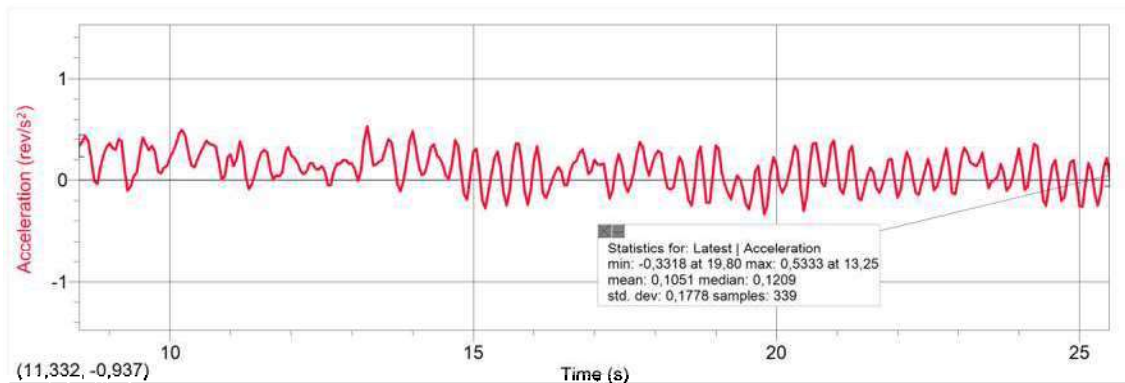


Figura 4.13 Aceleración en el transitorio a 2 voltios en el núcleo

La velocidad parte prácticamente de 0 y alcanza una velocidad angular de 3.6 rev/s esto se puede observar en la Figura 4.14

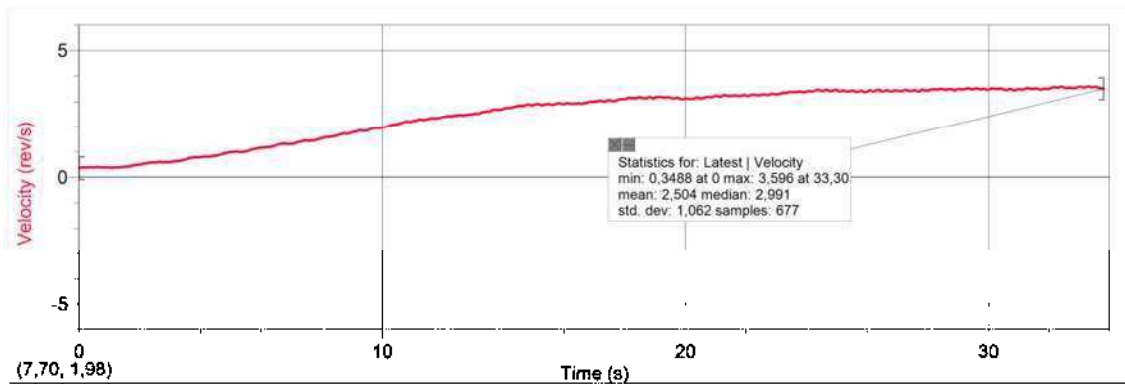


Figura 4.14 Velocidad en el transitorio a 2 voltios en el núcleo

4.3.2 Experimento No. 2 a 5 volts de magnetización

Nuevamente se hace se hizo el experimento pero esta vez aplicando al núcleo un voltaje de magnetización de 5 volts se espera que baje la velocidad del aerogenerador. En la Figura 4.15 se ve muestra la aceleración del transitorio de 0 a 30 segundos, los picos expresan el incremento de aceleración al paso del tiempo.

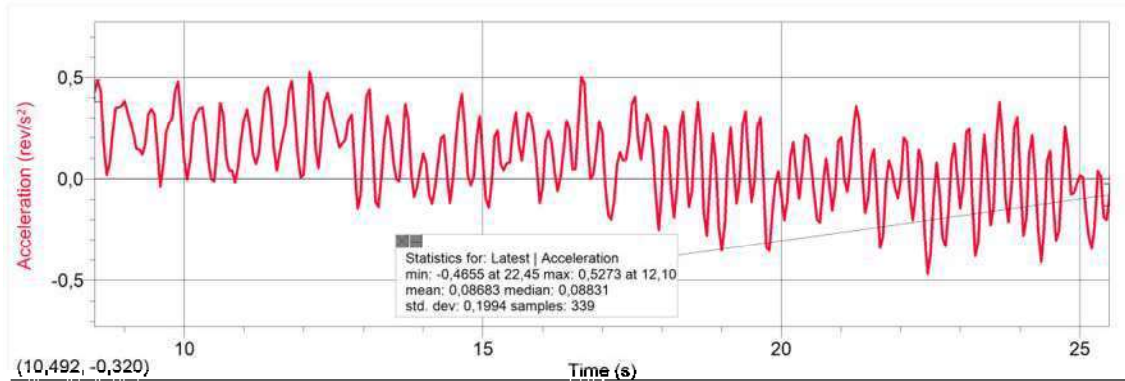


Figura 4.15 Aceleración durante el transitorio a 5 volts en el núcleo

En la Figura 4.16 se muestra la velocidad de 0 a 3.8 rev/s, se esperaba que bajaría la velocidad pero aumento es claro de entender ya que el viento es un factor muy cambiante y en esta ocasión soplabla con mayor intensidad.

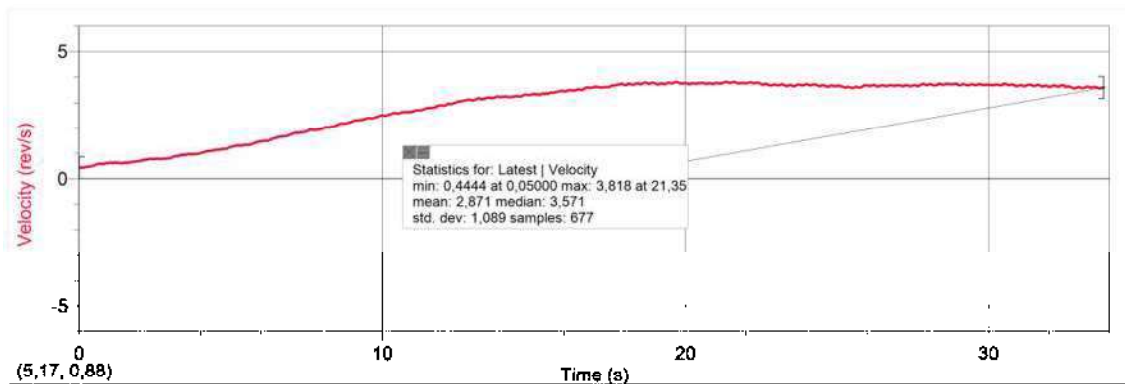


Figura 4.16 Velocidad durante el transitorio a 5 volts en el núcleo

4.3.3 Experimento No. 3 a 8 volts de magnetización

Por último se experimentó a 8 volts, la fuerza existente en el núcleo esta vez es mucho mayor y nuevamente se espera que baje la velocidad, claro esto depende totalmente de la fuerza del viento. En la figura 4.17 se observa la aceleración en el transitorio, se puede observar que hay más cambio de aceleración esto se debe a tener una fuente de energía no constante.

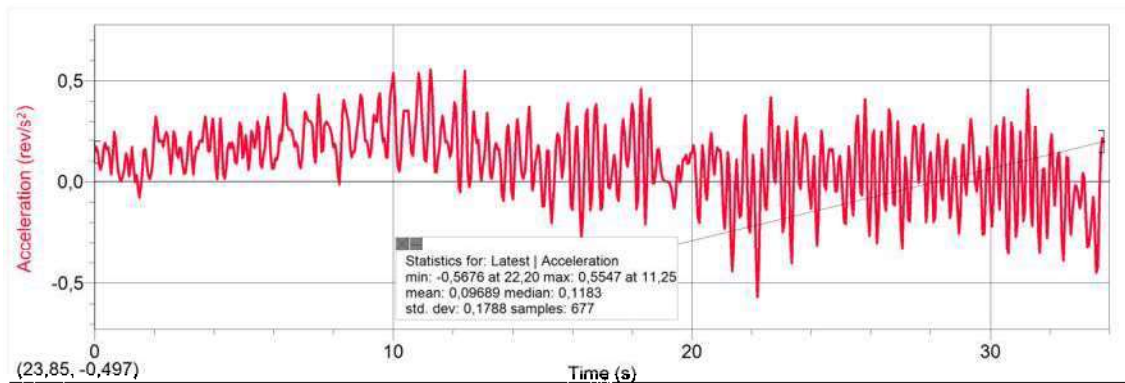


Figura 4.17 Aceleración en el transitorio a 8 volts en el núcleo

Esta vez la velocidad angular si bajo esto se puede observar en la Figura 4.18. Esto se debe tanto por la gran fuerza aplicada en el núcleo y por la fuerza del viento.

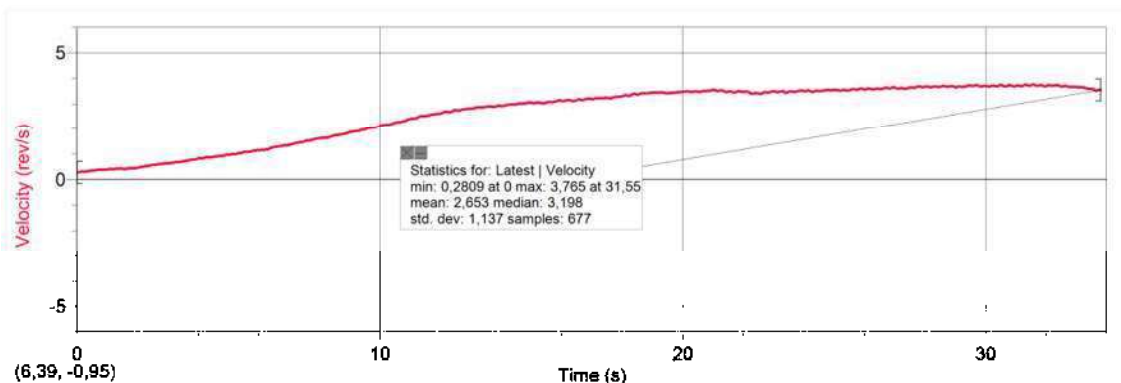


Figura 4.18 Velocidad en el transitorio a 8 volts en el núcleo

4.3.4 Experimento No. 3 a 8 volts de magnetización, en un lugar irregular

Este experimento se realizó en la azotea de una casa habitación en donde la fuerza del viento variaba demasiado, más sin embargo había lapsos en donde era muy fuerte y constante, la Figura 4.19 muestra la aceleración en el transitorio.

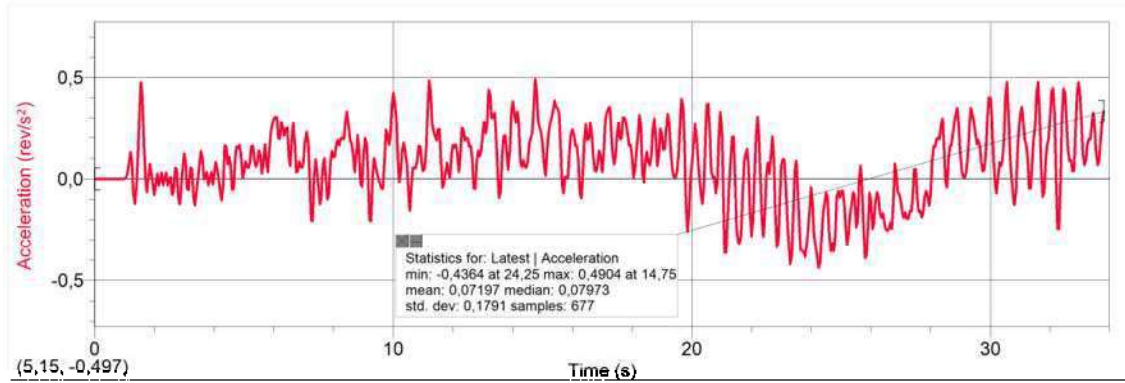


Figura 4.19 Acelaracion en el transitorio, fuerza del viento muy variante

La figura 4.20 muestra como se comporta la velocidad angular experimentada por el aerogenerador, baja y sube en lapsos pequeños esto afectaría al voltaje que se tiene en terminales, esto es un ejemplo por lo que es tan dificil sincronizar hacia la red.

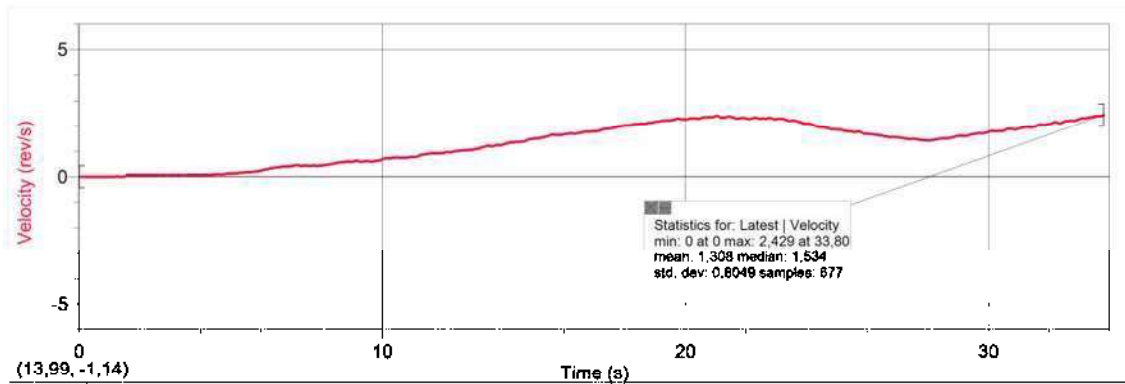
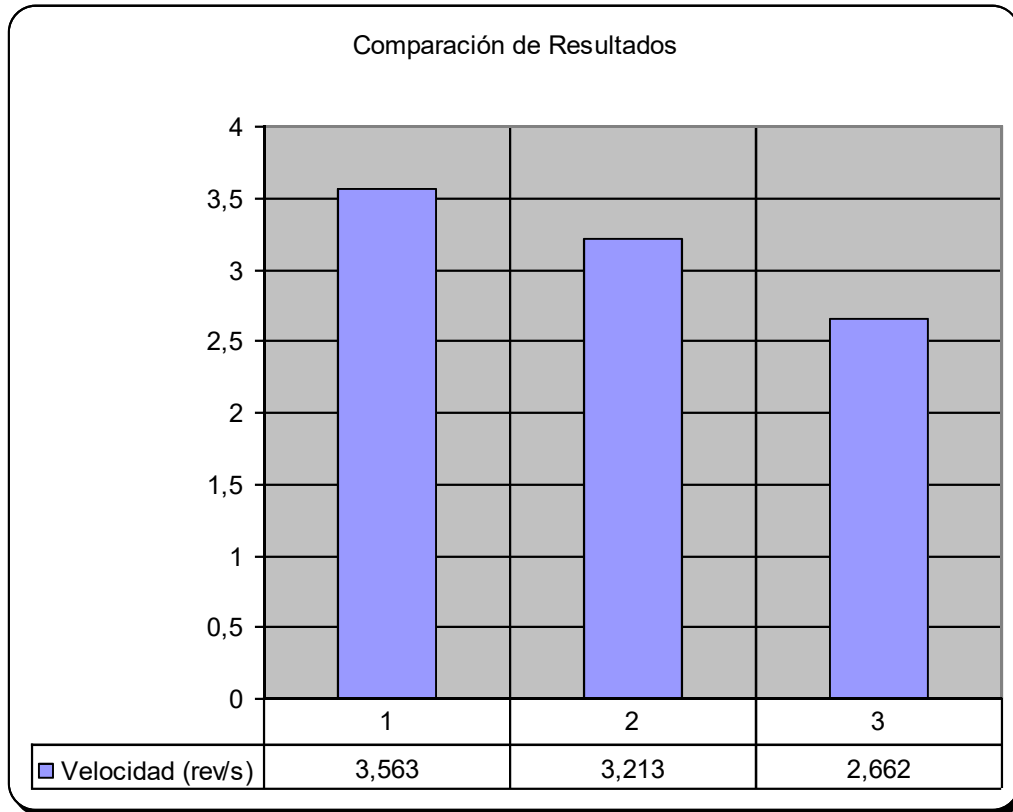


Figura 2.20 Velocidad en el transitorio, fuerza del viento muy variante

La Tabla 4.2 muestra una comparación de las velocidades que se alcanzó a diferentes voltajes de magnetización.

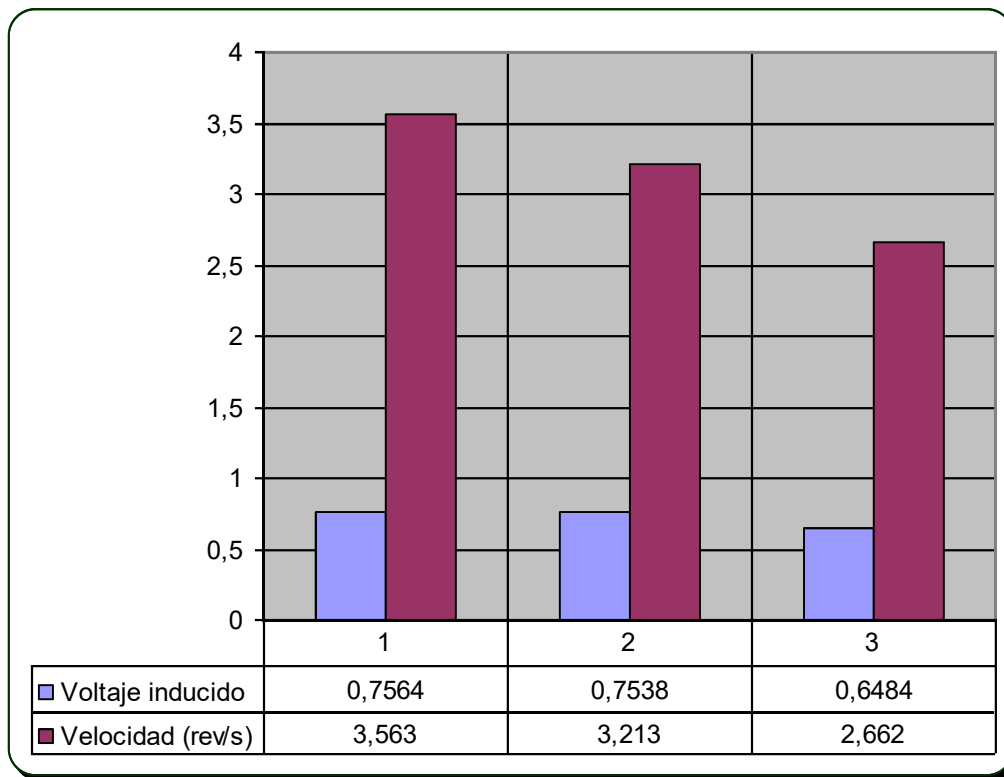
Tabla 4.2 Muestra las velocidades adquiridas a diferentes voltajes de magnetización



4.4 Pruebas Finales

En la Tabla 4.3 se pueden observar que todo se basa en la ley de Faraday, se podría mejorar estos parámetros modificando los diseños físicos del alternador o bien teniendo mayor energía de viento para impulsar con mayor fuerza las aspas y así provocar mayor velocidad y a su vez mayor voltaje inducido.

Tabla 4.3 Resultados finales



4.5 Inversor de corriente Cd a Ca

El voltaje que se maneja en las terminales del alternador es de corriente directa lo cual limita las aplicaciones a las cuales podríamos someterlo es por eso que unas de las alternativas para solucionar este problema es quitando en puente rectificar que ya tiene incluido o hacer un arreglo para hacer dicho cambio, este arreglo que se muestra a continuación no se realizó pero se recomienda para trabajos futuros.

La función de un inversor o convertidor de corriente directa a corriente alterna, es precisamente esa, convertir la corriente directa de una batería (acumulador) en corriente alterna se puede observar en la figura 4.21

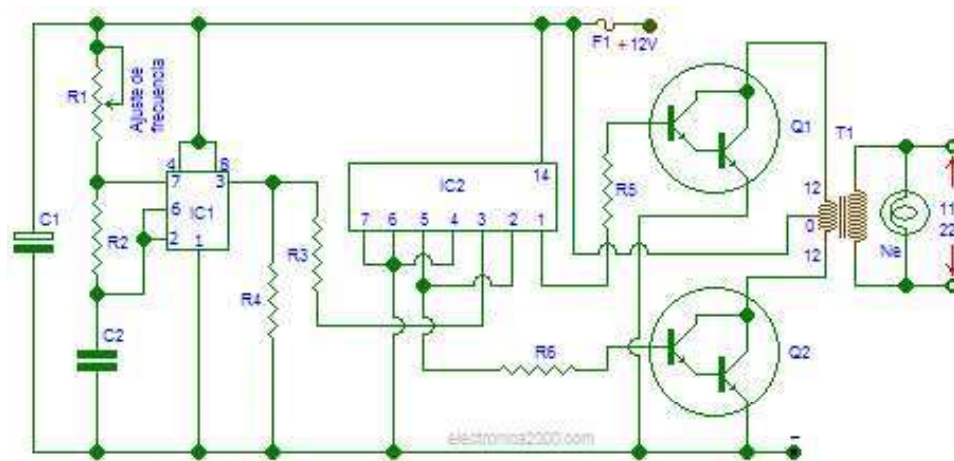


Figura 4.21 Inversor

Este circuito de tres secciones: El oscilador, el distribuidor y la salida de potencia. El oscilador está conformado principalmente por el IC1, la frecuencia de oscilación está determinada por R1, R2 y C2, el ajuste de esta está a cargo de R1. En el pin 3 de IC1 están presentes los pulsos que a través de R3 son entregados al pin 3 de IC2. El distribuidor, está conformado por IC2, que también podríamos llamar alternador y amplificador, ya que se encarga de alternar y amplificar los pulsos y entregarlos alternadamente a cada uno de los transistores Q1 y Q2.

La salida de potencia está a cargo de Q1 Y Q2, quienes habiendo recibido los pulsos en sus bases a través de R5 y R6 respectivamente, los hacen pasar por el devanado primario de T1 e inducir una corriente y formar un campo magnético que es transferido al secundario en el cual ya está elevado.

Para el ajuste de la frecuencia de preferencia debería de hacerse con un frecuencímetro para ajustarla a 60 Hz (ciclos), para que pueda conectarse cualquier aparato electrónico a la salida, siempre y cuando la potencia sea cuando menos un 10% más baja que la máxima del inversor.

Se concluye que las pruebas se basan totalmente en la Ley de Faraday, unos de los grandes problemas que se tiene para sincronizar este tipo de fuentes alternas de energía es una labor ardua y un reto para los ingenieros electricistas, no obstante se a logrado con existo el uso industrial y comercial de estos aerogeneradores que se sincronizan a la red a base de la medición constante de sus parámetros.

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Se logro demostrar que el alternador es una posibilidad para los aerogeneradores siempre y cuando se eleve el voltaje y así alimentar ciertas cargas. Es primordial destacar que los aerogeneradores deben poseer una eficiencia buena y esto se puede lograr teniendo una eficiencia alta tanto en las aspas como en el generador. En las aspas se tomaron consideraciones de aerodinámica para entender el comportamiento dentro de un fluido (viento).

Se tuvieron algunos problemas con la construcción de las aspas pero posteriormente fueron solucionadas cabe destacar que las aspas fueron creadas de madera para fines de pruebas pero se pudiera mejor la eficiencia pudiendo ser de aluminio o latón.

Algunos otros inconvenientes fue el viento, no fue lo suficientemente elevado para obtener un voltaje de magnetización alto, es recomendable que se hagan estudios también de los lugares con mayor cantidad de viento esto se podría hacer con una anemómetro que es un instrumento capaz de medir la fuerza del viento.

El generador de automóvil se tiene que magnetizar para producir voltaje a la salida aumentando en tamaño del aerogenerador más sin embargo pudimos observar que en ciertas aplicaciones pequeñas es factible usarlo por su bajo costo. Hoy en día se construyen de imanes permanentes esto reduce mucho en tamaño y no necesita de ser magnetizado, produce mayor potencia a bajas velocidades.

El alternador propuesto se podría utilizar en localidades en donde aún no han llegado las líneas de transmisión de las compañías suministradoras, haciendo este prototipo

a mayor escala sería capaz de alimentar las necesidades básicas de una familia o podría mover una bomba o algún otro dispositivo aislado.

5.2 Recomendaciones

El campo de la electricidad es muy amplio, el como generar electricidad es sólo una pequeña pero muy importante de sus ramas, en esta investigación quedan muchas cosas por hacer desde el tamaño de las aspas podría ser modificado ya que es un factor de importancia grande de ahí se puede desprender muchos otros factores como estudiar el comportamiento de las aspas con un ángulo beta dado, el grosor de las aspas, el material de las mismas.

Sería muy interesante antes del diseño de las aspas plantear un cálculo matemático que expresará la cantidad de potencia que se obtendría con diferentes tamaños de aspas y construir las dependiendo de las necesidades que se tuvieran. Esto se haría de acuerdo a los valores nominales de la máquina a utilizar.

Este trabajo se basó en el estudio del alternador pero no es la única máquina que se puede utilizar podría hacerse un estudio con infinidad de maquinas de corriente directa así como máquinas de alterna.

Otro factor de suma importancia es el viento ya que es el que proporcionó la energía para mover las aspas, en este proyecto se utilizó el viento de la ciudad se probó en diferentes partes de la misma pero lo que comúnmente se hace para hacer pruebas de aerogeneradores es la construcción de túneles de viento dirigidos hacia las aspas.

El aerogenerador presentado en esta tesis consta sólo de las partes más esenciales como son el generador, las aspas y como torre se monto en una escalera. Si se desea expandir este trabajo se podría construir una veleta que pudiera dirigir las aspas hacia la dirección del viento, se podría montar en un poste de luz que los pueden encontrar en

alguna sucursal de la Comisión Federal de Electricidad con un costo muy bajo. Un aerogenerador consta de muchas partes pero los que se colocan en casas constan de esas partes.

Si se piensa construir un aerogenerador hay que tener en cuenta todo lo que se vaya a necesitar, para empezar las aspas deben de ser de una madera no muy pesada y fácil de tallar que este completamente seca y sin porosidades, en Internet es fácil encontrar moldes de cómo hacerlas poco a poco, más sin embargo es recomendable consultar con un carpintero si se desean hacer de madera, como tallar y que herramientas son las adecuadas para dicha tarea. Hay que tener especial cuidado en los bordes así como la disminución de área desde la paleta hacia la punta del aspa.

Si se quiere hacer un estudio más detallado sobre el comportamiento del aerogenerador podría utilizarse más sensores, las piezas que se utilizaron fueron mandadas a construir por un tornero, el montaje de los mismos es creatividad del ingeniero es recomendable tenerlos sujetos para mayor comodidad y claridad de las respuestas a su vez el manejo de la teoría de control sería muy útil.

Incluso estos un sistema híbrido es lo que ahora en día se maneja, unas celdas solares y un aerogenerador en conjunto sería muy rentable para las familias de grandes ciudades en donde por ocasiones la velocidad del viento no es la suficiente.

REFERENCIAS

Bayod Á. y otros; GUÍA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES APLICADAS A LAS PYMES; Tacna-Perú; Editorial Santa María; 1969; en: http://www.conectapyme.com/files/publica/Guia_E_Renovables.pdf

Pacco K. Evaluación Energética Comparativa de un Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV) de Baja Potencia para la Electrificación de una Vivienda Urbana (Tesis). 2009: Tacna.

Pacco K. Evaluación Energética Comparativa de un Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV) de Baja Potencia para la Electrificación de una Vivienda Urbana (Perfil). 2009: Tacna.

Burton T, Sharpe D, Jenkins N., Bosanyi E., (2001) WIND ENERGY HANDBOOK John Wiley & Sons, Ltd Baffins Lane, Chichester West Sussex, PO19 1UD, England

"Wind turbine generator systems. Part 24: Lightning protection," vol. 61400-24, First ed: IEC, pp. 69, 2002.

"Protection of structures against lightning. Part 1 General principles," vol. 61024-1: IEC, 1990.

P. Lalande, "Etudes des conditions de foudroiement d'une structure au sol," vol. PhD: Paris Sud, 1995.

"Protection of structures against lightning. Part 1-2: General principles (Guide A: Selection of protection levels for lightning protection systems," vol. 61024-1-1: IEC, 1993.

L. P. Bondiou, A. Clergerie, I. Gallimberti, A. Bonamy, "Le champ électrique de stabilisation: un critère physique de description de la connexion de la foudre sur les structures au sol," *2eme Symposium international foudre et montagne*, Chamonix, 1997.

P. Laroche, P. Lalande, A. Bondiou, "Lightning flash connection to ground modeling," presented at Foudre 2001, Montpellier, 2001.

M. Aguet, M. Ianoz, *Haute Tension*, vol. XXII. Paris: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1982.

J. S. Chang, A. J. Kelly, I. M. Crowley, *Handbook of Electrostatic Processes*. New York: Marcel Dekker, 1995.

"Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante paraarrayos con dispositivo de cebado," vol. 21186: UNE, pp. 61, 1996,

M. Aguado, I. Larión, " Calculation of electric fields in a wind mill due to a lightning discharge using finite elements method," 27'