

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

DISEÑO DE AEROGENERADOR DE BAJA POTENCIA

VICTOR MAURICIO URIBE GALEANO

JUAN CAMILO GAVIRIA ACOSTA

Ingeniería Electromecánica

Asesor:

Ing. Miryam Lucía Guerra Mazo

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

ITM

AGOSTO 19 - 2016

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo documentar el proceso de diseño de un aerogenerador de baja potencia, para lo cual **se tomó** como base los desarrollos actuales en materia de diseño, materiales de fabricación, normatividad ambiental y su aplicabilidad en entornos donde no se tengan facilidades de interconexión eléctrica, además los costos asociados a la generación de energía eléctrica aprovechando un recurso natural renovable.

En este trabajo se tomó como enfoque utilizar el viento como una fuente de energía por medio de un aerogenerador, se decidió utilizar un aerogenerador de baja potencia, el cual puede implementarse y utilizarse con facilidad en una zona rural.

Para determinar el funcionamiento de este fue necesario realizar ciertas modificaciones a sistemas ya conocidos para facilitar el funcionamiento y la fácil construcción de este.

El principal objeto de este trabajo es abastecer de energía eléctrica ciertos **equipos** pequeños que se usan comúnmente en un hogar por medio de la energía eólica, para lograr este objetivo fue necesario realizar el análisis y en ciertos casos los cálculos pertinentes a cada uno de los elementos que hacen parte de la estructura tanto mecánica como eléctrica de un aerogenerador de baja potencia.

Se adquiere un profundo conocimiento sobre los sistemas eólicos de baja potencia, sus posibilidades de desarrollo y sus bondades para el aprovechamiento de los recursos naturales, además de las características y la selección de los mecanismos que los conforman.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

RECONOCIMIENTOS

Juan Camilo Gaviria Acosta:

Agradezco a la institución por habernos permitidos disponer en todo momento de toda la información que posee (biblioteca, salas de computo, bases de datos, etc.) la cual utilizamos en cada uno de los procesos de este trabajo, a nuestra asesora de trabajo de grado Myriam Guerra la cual estuvo siempre para orientarnos, para darnos información valiosa y por sacar de su propio tiempo y de su propia información para brindárnosla con el mayor de los gustos.

Agradezco a nuestros familiares que siempre nos dieron su apoyo y nos alentaron en todo el proceso de realización, además a mi compañero que siempre dio todo su esfuerzo y su tiempo para la terminación de este proyecto.

Víctor Mauricio Uribe Galeano:

Gracias Dios por las oportunidades que me brindas cada día.

A mis padres William y Luz Helena por su permanente apoyo y compañía en todos mis objetivos y proyectos.

A mi hermana Claudia, gracias por ser siempre una motivación para seguir adelante.

A todos los miembros de mi familia, por siempre estar cuando los necesito.

A mi ROSA, gracias por tu paciencia, tu apoyo y compromiso, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles y por no permitirme desfallecer.

A nuestra asesora Ing. Myriam Guerra por su paciencia, ayuda y acompañamiento para lograr sacar adelante este proyecto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

ACRÓNIMOS

TCAC: Tasa de crecimiento anual compuesto

GWEC: Consejo mundial de energía eólica

MWTT: Compañía americana fabricante de turbinas de viento que utilizan tecnologías de levitación magnética. (Maglev Wind Turbine Technologies)

Maglev: Tecnología de levitación magnética

GCAES: Sistema avanzado de almacenamiento de energía eólica en reservorios ubicados en la tierra, creado por la compañía General Compression. (The General Compression Advanced Energy Storage).

PMG: Generador de imanes permanentes

AVR: Regulador de tensión

NACA: Comité consejero nacional para la aeronáutica. (National advisory committee of aeronautics)

GRP: Fibra de vidrio con resina de poliéster

MGOe: (Mega Gauss Oersted) Unidad en el sistema de medida CGS para el producto de energía máximo en imanes permanentes.

CGS: Sistema cegesimal de unidades. Las unidades en el que está basado son el centímetro, el gramo y el segundo.

 ITM Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

TABLA DE CONTENIDO	Página
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 Generalidades	6
1.2 Objetivos	6
1.3 Organización de la tesis	6
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Tipos de energía	7
2.2 Tipos de vientos	8
2.3 Ventajas y desventajas de la energía eólica	9
2.4 Historia de los generadores eólicos	10
2.5 Definición de aerogenerador	12
2.6 Algunos desarrollos adicionales en aerogeneración	16
2.7 Componentes básicos del aerogenerador	18
2.8 Generadores de imanes permanentes	20
3. METODOLOGÍA	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1 Diseño del rotor	23
4.2 Diseño del estator	24
4.3 Rectificador	29
4.4 Convertidor CC/CA	29
4.5 Baterías estacionarias	30
4.6 Criterios para selección de aspas	31
4.7 Cálculos del eje	34
4.8 Calculo de cargas sobre la torre	40
4.9 Selección de rodamientos	42
4.10 Aspectos de seguridad	44
4.11 Plan de mantenimiento	46
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	48
REFERENCIAS	50

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades:

En la actualidad de la humanidad todos debemos aportar de alguna manera al mejoramiento de las condiciones del planeta, tratando de aprovechar en mayor medida los recursos naturales renovables, en nuestro caso no solo debemos ayudar como habitantes del planeta tierra, también es nuestra obligación hacerlo desde nuestro rol como ingenieros.

En base a lo anterior se diseña un aerogenerador de baja potencia con la capacidad de suplir necesidades básicas de iluminación en viviendas ubicadas en zonas rurales donde es evidente la dificultad para realizar cualquier tipo de interconexión eléctrica con alguna entidad prestadora de servicios de este tipo, generando un impacto positivo tanto económico como ambiental.

1.2 Objetivos:

1.2.1 General:

Diseñar un aerogenerador de baja potencia, que esté en capacidad de generar energía eléctrica para abastecer diversas aplicaciones de bajo consumo en viviendas rurales, sin ocupar un gran espacio.

1.2.2 Específicos:

1. Diseño de los elementos mecánicos, eléctricos y de control del aerogenerador que cumpla con el objetivo de generación.
2. Definir las características y especificación de ensamble y montaje, incluida la realización de los planos mecánicos, eléctricos, de ensamble y montaje.
3. Realizar el manual de mantenimiento y operación.

1.3 Organización de la tesis:

En el desarrollo del trabajo de grado se explicaran cada uno de los componentes del sistema del aerogenerador, la manera en que se desarrollaron los cálculos de los elementos y también se conocerá la historia y el desarrollo que han tenido estos sistemas a nivel mundial, también se dará explicación del rol que cumple cada parte del aerogenerador para poder obtener la plenitud del sistema y así poder cumplir con el objetivo propuesto.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

2. MARCO TEÓRICO

2.1 TIPOS DE ENERGÍA

2.1.1 Energía Eléctrica: Es la energía que resulta cuando existe diferencia de potencial entre dos puntos, estableciendo una corriente eléctrica entre ambos.

2.1.2 Energía Luminosa: La energía lumínica o luminosa es la energía transportada por la luz y que se manifiesta sobre la materia de distintas maneras, puede comportarse como una onda, por ejemplo en un televisor y son ondas percibidas por los ojos a través de la córnea y la retina.

2.1.3 Energía Mecánica: Es la energía lograda debido a la posición y al movimiento de un cuerpo, o sea es la sumatoria de energías potencial, cinética y energía elástica de un cuerpo en movimiento.

2.1.4 Energía Térmica: Se denomina así a la energía liberada en forma de calor. Puede ser obtenida de la naturaleza mediante una reacción exotérmica, como la combustión de algún combustible, por una reacción nuclear de fisión o de fusión, mediante energía eléctrica por efecto Joule o efecto termoeléctrico, también por rozamiento, como residuo de algún proceso mecánico o químico.

2.1.5 Energía Solar: Es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el sol. Es una de las llamadas energías renovables, del grupo no contaminante, conocido como energía limpia o verde.

2.1.6 Energía Nuclear: Es aquella que se libera como resultado de una reacción nuclear donde se desintegran los átomos del Uranio, los cuales al desintegrarse producen calor. En las reacciones nucleares se libera una gran cantidad de energía debido a que parte de la masa de las partículas en el proceso, se transforma directamente en energía. Se puede obtener por el proceso de Fisión Nuclear (división de núcleos atómicos pesados) o por Fusión Nuclear (unión de núcleos atómicos muy livianos).

2.1.7 Energía Hidráulica: Se denomina así a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente de ríos, saltos de agua o mareas.

2.1.8 Energía Fotovoltaica: Son sistemas que permiten la transformación de la luz solar en energía eléctrica, esta transformación se produce en unos dispositivos llamados paneles fotovoltaicos. En estos la radiación solar excita los electrones de un semiconductor generando un diferencial de potencial.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

2.1.9 Energía de reacción: En una reacción química el contenido energético de los productos es diferente al de los reactivos, este defecto o exceso de energía se conoce como reacción exotérmica o endotérmica según el desprendimiento o la absorción de calor. Habitualmente se manifiesta en forma de calor.

2.1.10 Energía Eólica: Es la energía obtenida del viento, se aprovecha la energía cinética generada por las corrientes de aire. Es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que la convierte en un tipo de energía verde. Su principal inconveniente es la intermitencia de las corrientes de aire.



FIGURA 1 – TIPOS DE ENERGÍA (Fuente: Autores)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

2.2 TIPOS DE VIENTOS

Los vientos en Colombia están considerados como los mejores de Sudamérica desde el punto de vista de la posibilidad de aprovechamiento, en algunas regiones, como en la Guajira, estos están clasificados como vientos clase 7 (10 m/s aproximadamente). Se estima que en esta región el potencial eólico puede estar en el rango de los 21 **GW** (suficiente para satisfacer casi dos veces la demanda nacional), aunque solo hay instalados 19.5 **MW**, aproximadamente 0,4% del potencial teórico.

De acuerdo con la escala o dimensión del recorrido de los vientos existen tres tipos de vientos:

- **Vientos planetarios:** Son aquellos que soplan todo el año y afectan grandes extensiones de tierra. Se generan por diferencias en la presión atmosférica debido a variaciones de temperatura por los rayos solares sobre la superficie terrestre.
- **Vientos regionales:** Son determinados por la distribución de tierras y mares, también por los relieves continentales.
- **Vientos locales:** Estos presentan un desplazamiento del aire desde zonas de alta presión a zonas de baja presión, determina los vientos dominantes en una zona. Se subdividen como brisa marina y terrestre, brisa de valle y brisa de montaña.

2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGIA EOLICA

VENTAJAS

- Es renovable ya que tiene su origen en procesos atmosféricos, además es limpia, no produce emisiones atmosféricas ni residuos contaminantes.
- No requiere combustión, o sea que no genera emisiones de dióxido de carbono evitando el incremento de gases **de** efecto invernadero.
- Puede instalarse en espacios no aptos para otros fines, por ejemplo zonas desérticas, zonas áridas, costeras o muy empinadas para ser cultivables.
- Puede convivir con otros usos del suelo, ejemplo: cosechas o tierras de actividad ganadera.
- Son generadores de empleos directos para personal altamente capacitado.
- Su utilización combinada con otro tipo de energía como por ejemplo la solar permite la autosuficiencia energética de viviendas logrando autonomía respecto a la red eléctrica.
- Cada **KWh** de electricidad generada por energía eólica en lugar de carbón, evita:
 - 0,60 Kg. de CO₂, dióxido de carbono.
 - 1,33 gr. de SO₂, dióxido de azufre.
 - 1,67 gr. de NO_x, óxido de nitrógeno.

Dato tomado de www.proyectopv.org/2-verdad/energiaeol.htm

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

DESVENTAJAS

- El ruido producido por el giro del rotor o el roce de las aspas con el aire puede generar contaminación acústica, produciendo un impacto negativo en los alrededores.
- Los costos o inversión inicial pueden ser más altos respecto a las fuentes convencionales de energía.
- Se debe considerar que el viento no siempre es constante por lo que no se puede o no se recomienda utilizarla como fuente única de energía.

2.4 HISTORIA DE LOS GENERADORES EOLICOS

La energía del viento ha sido aprovechada desde tiempos remotos como fuerza motriz en la navegación, en molinos de granos y bombas de agua como energía mecánica. Los molinos de viento aparecieron en Persia, Irak, Egipto y China desde el siglo 17 A.C.

Estos primeros molinos eran de eje vertical y movían un par de piedras redondas sin engranajes. En China hay referencia de palas de tela sobre un armazón de madera, que eran usados para bombear agua conocidas como Panémonas, las cuales fueron precursoras de los molinos persas.

Los molinos de viento fueron utilizados en Europa en la edad media (inicialmente en Grecia, Italia y Francia). Cada uno con su propia tecnología, aunque principalmente eran molinos de eje horizontal, mientras que los molinos orientales eran de eje vertical.

En el siglo XVI, Holanda perfecciona el diseño de los molinos y los utiliza para el drenaje, fue tal la importancia que adquirió la energía eólica que para el siglo XVIII los holandeses tenían instalados y en funcionamiento 20.000 molinos

Las primeras bombas eólicas aparecen en 1854, desarrolladas por Daniel Halladay, son rotores de múltiples álabes acoplados a una bomba de pistón a través de un sistema biela-manivela. En 1883 aparece el pequeño multipala americano diseñado por Stewart Perry.

Como precursor de los actuales aerogeneradores, se encuentra la turbina danesa de Lacourt (1892), utilizaba un rotor de cuatro palas de 25 metros de diámetro capaz de entregar entre 5 y 25 KW.

Los grandes avances aerodinámicos se dan en las primeras décadas del siglo XX, estableciendo los criterios básicos para las nuevas turbinas eólicas. Se empiezan a usar los perfiles aerodinámicos que se habían diseñado para las alas y hélices de los aviones. En 1927, el holandés A.J. Dekker construye el primer rotor de palas con sección aerodinámica, capaz de lograr velocidades en punta de pala, cuatro o cinco veces superiores al viento incidente.

Otro avance importante fue el uso de los sistemas de regulación de paso variable, que permitían un mejor control de la potencia en las turbinas. A consecuencia de estos avances surge toda una nueva industria relacionada con los aerogeneradores, por ejemplo los pequeños aerogeneradores

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

fabricados por la compañía americana Jacobs Wind Electric, la cual fabricó miles de unidades de un modelo con capacidad de 1 KW.

El periodo de decline de este tipo de tecnología se debió a la irregularidad del viento y la dificultad para almacenar la energía, por tanto, combustibles fósiles, como petróleo y carbón, se **convierten en la principal fuente energética**.

Con la primera guerra mundial la escasez de recursos para importar petróleo obligó a que los fabricantes de turbinas eólicas se enfocaran en dos caminos de producción:

- Comercializar aerogeneradores de baja potencia para la electrificación rural.
- Diseñar, construir y comercializar aerogeneradores de alta potencia.

Posteriormente las redes eléctricas comenzaron a ser lo suficientemente extensas como para cubrir las zonas rurales, por lo que disminuyeron las ventajas de los generadores de baja potencia usados en zonas aisladas, aunque en Francia, Dinamarca e Inglaterra se llevaron a cabo programas de cierta importancia. En los últimos años debido a los grandes avances logrados se han podido construir aerogeneradores con potencias mayores (500 KW a 1.2 MW), desarrollados por grandes compañías aeronáuticas, más económicos y con máquinas más confiables.

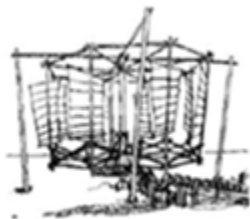


Imagen de molino chino Panemonas usado para el bombeo de agua.

Fuente: forthewind.wordpress.com



Imagen molino holandes

Fuente: www.mudanzasinternacionales.eu

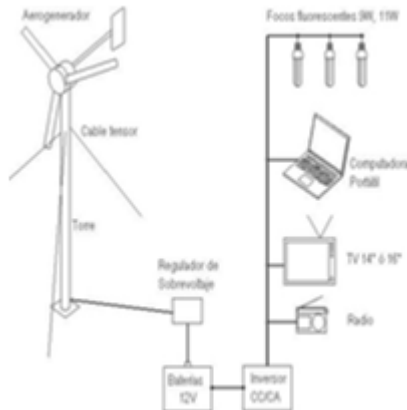
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16



Imagen rotor multipalas
Fuente: www.oni.escuelas.edu.ar



Generador Jacobs 1 KW
Fuente: www.cubasolar.cu



Usos actuales de los aerogeneradores
Fuente: www.hormigasolar.com

FIGURA 2 – DESARROLLO DE LOS GENERADORES EOLICOS A TRAVES DEL TIEMPO (Fuente: Autores)

El sistema completo consta básicamente de:

- Un tablero eléctrico, ubicado en el interior de la vivienda. Es el elemento con el que el usuario posee interacción directa.
- Banco de baterías, que se encuentra en conjunto con el tablero. La cantidad de baterías depende de la cantidad de energía que el usuario necesite acumular.
- Aerogenerador, ubicado a una distancia considerable de la vivienda (aproximadamente 200 metros)
- Conductores, encargados de trasladar la energía desde el generador hasta la vivienda.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

2.5 DEFINICIÓN DE AEROGENERADOR

Un aerogenerador es un dispositivo que convierte la energía mecánica de rotación disponible en el eje de un motor en energía eléctrica, es decir un AEROGENERADOR es un generador eléctrico acoplado a una turbina eólica donde se transforma energía cinética del viento en energía mecánica rotacional en la turbina y en energía eléctrica en el generador.

Clasificación de los aerogeneradores:

Dependiendo de diversos factores constructivos, se pueden clasificar de varias maneras:

1. Por el tipo de eje:

1.1 Eje vertical: No son los más comunes debido a su baja capacidad de producción de energía. Su característica principal es que su eje de rotación se encuentra en posición perpendicular al suelo. Suelen ser más económicos que los de eje horizontal.

Algunos tipos son:

- Savonius: Una de las turbinas más simples, no necesitan orientarse en la dirección del viento, soportan mejor las turbulencias y pueden girar con vientos de baja velocidad, es una de las turbinas más económicas. son generalmente usadas cuando el costo resulta más importante que la eficiencia. Fueron inventadas por el ingeniero finlandés Sigurd J. Savonius en 1922. Su principio de operación se basa en la fuerza de arrastre diferencial sobre dos superficies. Son dispositivos de arranque de dos o más palas que forman la figura de una S. Debido a esta curvatura, las palas experimentan menos resistencia cuando se mueven en contra del viento.

Este tipo de aerogenerador prácticamente desapareció con la aparición del generador tripala de eje horizontal.

La siguiente figura muestra el diagrama de flujo de la corriente de aire que impulsa la turbina Savonius.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

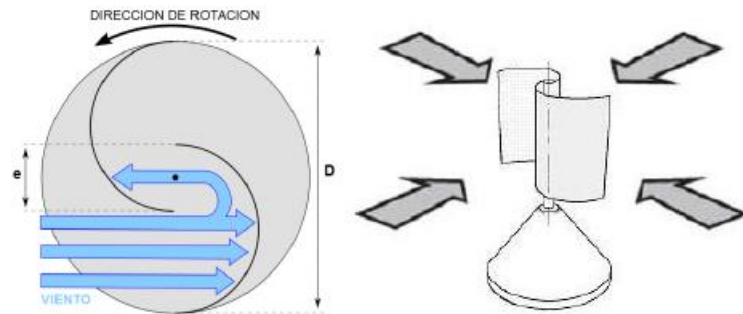


FIGURA 3 - FUNCIONAMIENTO DEL ROTOR SAVONIUS
 Imagen extraída de es.wikipedia.org

- Darrieus: Consta de varios perfiles aerodinámicos verticales montados sobre un eje giratorio. Debe su nombre al ingeniero francés George Darrieus, requiere vientos de 4 a 5 m/s, mantiene grandes velocidades de giro y buen rendimiento. Sus álabes son palas con forma de ala de avión, unidas al eje solo por los extremos, con una curva especial diseñada para un máximo rendimiento entre las dos uniones del eje. El modelo de curva más usado es el denominado Trope Skien que puede ser instalado en cualquier terreno sin necesidad de torres. Algunos necesitaban asistencia para el arranque, sin embargo se han desarrollado diseños con esa capacidad de autoarranque.

Además de este tipo de rotor, existe el rotor Darrieus de alabe recto o tipo H, es un tipo de rotor donde los perfiles de los álabes son rectos a lo largo del área de barrido. Estos perfiles aerodinámicos están sujetos al eje de rotación. Esta configuración requiere de una mayor rigidez estructural, aunque una ventaja importante, es que el diseño de los álabes presenta simplicidad en su construcción.

También existe el rotor Darrieus helicoidal, construido por la empresa finlandesa Windside. Es tecnología relativamente nueva, con rendimiento similar al de los aerogeneradores de eje horizontal para pequeños y medianos consumos.

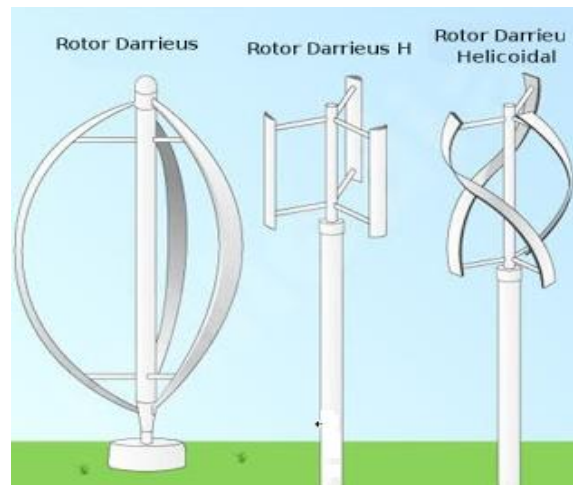
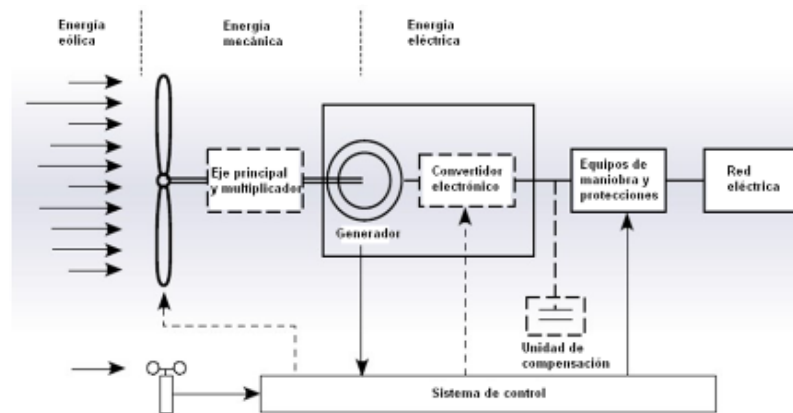


FIGURA 4 - GENERADORES DE EJE VERTICAL
 Imagen extraída de generadoresenergiaeolica.blogspot.com

1.2 Eje horizontal: Son los más comunes, su eje de rotación se encuentra paralelo al suelo y a la dirección del viento, son más costosos que los de eje vertical. Son más eficaces, aunque sus aspas no soportan grandes velocidades.

Este tipo de aerogeneradores se pueden subdividir de la siguiente manera:

- Con caja multiplicadora: Este tipo de aerogenerador, tiene una pieza llamada “caja multiplicadora” la cual acopla las bajas velocidades de rotación del rotor con las altas velocidades que necesita el generador. Soporta las amplias variaciones de la velocidad del viento.



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

FIGURA 5 – ESQUEMA BASICO AEROGENERADOR CON CAJA MULTIPLICADORA

Imagen extraída de www.scielo.org.ve

- Sin caja multiplicadora: Tienen generadores de varios polos llamados multipolos. Es más costoso que los que usan caja multiplicadora pero su mantenimiento es menor. Es un generador síncrono de imanes permanentes que genera energía eléctrica en corriente alterna a frecuencia variable, por lo que no se puede introducir directamente a la red (que está a 50 o 60Hz), por tanto la energía se rectifica y después se ondula de nuevo a la frecuencia de red.

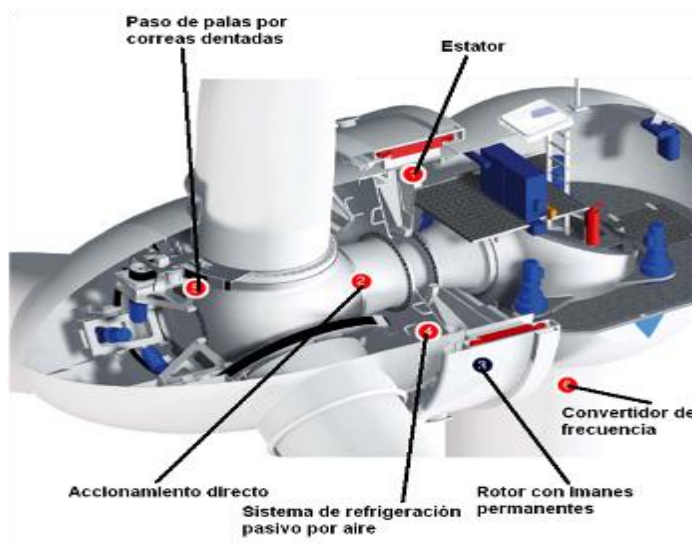


FIGURA 6 – ESQUEMA AEROGENERADOR SIN CAJA MULTIPLICADORA

Imagen extraída de www.ewind.es

2. Por la orientación respecto al viento:
 - 2.1 A barlovento o proa: Son los más comunes, sitúan el rotor de cara al viento, evitando que el cuerpo de la torre se interponga entre el propio rotor y la dirección del viento.
 - 2.2 A sotavento o popa: Esta orientación se da en aerogeneradores de eje vertical. Su ventaja principal es que no necesita mecanismo de orientación, su desventaja es su poca eficacia.
- 3 Por el número de aspas:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- 3.1 De un aspa o mono pala: Constituidos por una única pala con su respectivo contrapeso, funcionan con velocidades de giro muy elevadas.
- 3.2 De dos aspas o bipala: Son los más económicos y ligeros. Necesitan una velocidad mayor para producir la misma cantidad de energía.
- 3.3 De tres aspas o tripala: Es la forma más común actualmente, ya que su rendimiento es mayor respecto a los de dos aspas.
- 3.4 Multípala: No es muy común, tiene multitud de palas y normalmente se usa para extracción de agua en pozos.
- 4 Por la forma como se direccionan respecto al viento:
 - 4.1 Por conicidad: Usan el motor de orientación para posicionarlo dependiendo de la dirección en la que sopla el viento.
 - 4.2 Por veleta: Usan una especie de aleta en la parte posterior, el viento choca contra este elemento y mueve todo el conjunto. Solo es funcional en pequeños equipos con poco peso.
 - 4.3 Por molinos auxiliares: Es un sistema poco usado, básicamente es tener varios molinos en diferentes caras del equipo, los cuales giran dependiendo de la dirección del viento.



FIGURA 7 – AEROGENERADORES DE EJE HORIZONTAL DIRECCIONADOS CON VELETAS
 Imágenes extraídas de panelessolarescaseros.net

2.6 ALGUNOS DESARROLLOS ADICIONALES EN AEROGENERACIÓN

Maglev wind turbine: Consiste en reemplazar los rodamientos convencionales (donde se pierde parte de la energía del aerogenerador) por rodamientos y cojinetes magnéticos. Este diseño pretende utilizar vientos con velocidades de arranque muy bajo (1,5 m/s) y de operación normal a 3 m/s.

Es un proyecto desarrollado por la empresa estadounidense (MWTT) “Maglev Wind Turbine Technologies, Inc.”, con sede en Arizona, quienes pretenden construir un aerogenerador de 1 GW

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

de potencia para alimentar 750.000 hogares, entregando energía limpia con valor menor a un centavo de dolar por KW/h.

La levitación magnética es un método que aunque no es nuevo (es la tecnología base de los trenes de alta velocidad que operan en Europa y Asia) es muy eficaz para captar la energía del viento, ya que las palas de la turbina se suspenden en un cojín de aire y la energía se dirige a los generadores con pérdidas mínimas por fricción evitando el desgaste mecánico de las piezas y la necesidad de lubricación, generando reducción de costos de mantenimiento y aumentando la vida útil del generador. Los aerogeneradores tripalas comunes convierten en energía menos del 1 % del viento disponible, la turbina Maglev busca reducir estas pérdidas proporcionando un método más eficiente, versátil y elegante de producción energética.

Aunque la promesa de la compañía fabricante era comercializar el primer aerogenerador en el 2012, hasta el momento sólo se han fabricado unos pequeños prototipos a nivel de laboratorio.

COMPARATIVO ENTRE GENERADOR MAGLEV Y GENERADOR TRADICIONAL TRIPALA

TABLA 1

PLANTA GENERADORA MAGLEV DE 1 GW	Vs	GENERADOR TRIPALA DE 2 MW
Alimenta 750.000 hogares	Vs	Alimenta 500.000 hogares
Requiere un espacio menor a 0,4 Km ² para su instalación	Vs	Requiere un espacio aproximado a 130 Km ²
Costo inicial entre 2.5 y 3 billones	Vs	Costo inicial aproximado de 11 billones
No hace ruido	Vs	Cada turbina es ruidosa
Capacidad de generación a bajas o altas velocidades	Vs	Necesita una velocidad mínima del viento para iniciar la generación y necesita ser detenido cuando esta velocidad aumenta
Impacto minino a la fauna	Vs	Las aspas pueden ser peligrosas para la vida silvestre
Los componentes principales de la maquina están a nivel del piso	Vs	Los componentes principales de la maquina se encuentran en la parte superior de la torre, o sea a gran altura

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16



FIGURA 8 - TURBINA DE VIENTO CON TECNOLOGIA MAGLEV
Imagen extraída de www.ison21.es

GENERAL COMPRESSION: La empresa General Compression ha desarrollado un sistema de compresión que todavía se encuentra en pruebas en una caverna de sal en el oeste de Texas, USA. Es tecnología libre de combustibles, no emite carbono u otras emisiones y se puede utilizar en proyectos desde 5 hasta más de 1.000 megavatios.

Este sistema podría resolver el problema de variabilidad del recurso, pues su idea es almacenar aire para ser utilizado de forma regulada por generadores eléctricos en una central.

La energía eólica solo está disponible cuando hay viento, es estacional y depende de la hora del día, pero la demanda energética es consistente y predecible, por tanto el objetivo es el almacenamiento de aire comprimido, el cual será utilizado cuando sea necesario. Cuando sopla el viento la energía se convierte en aire comprimido y cuando la demanda decrece, el proceso se invierte y el aire comprimido impulsara el mismo compresor para generar electricidad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

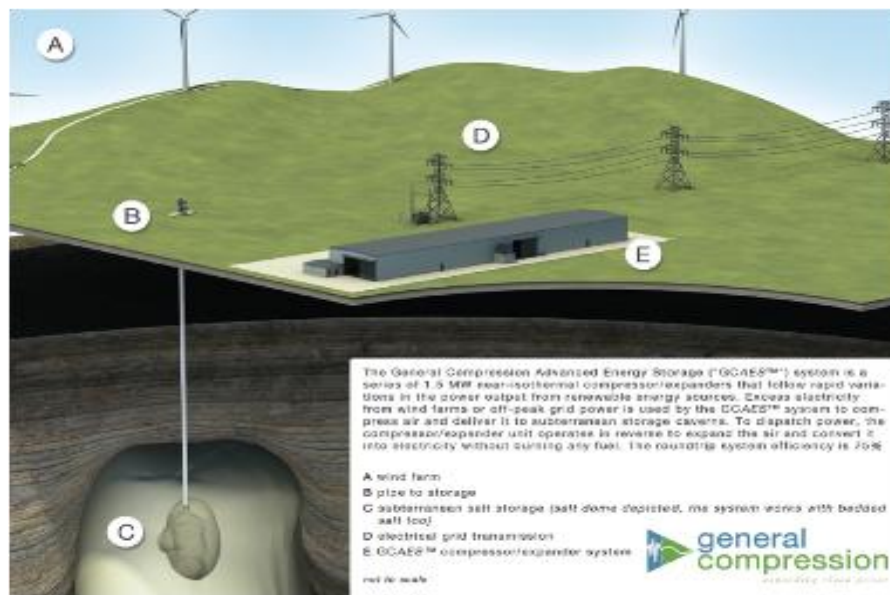


FIGURA 9 - PLANTA ALMACENAMIENTO DE AIRE
 Imagen extraída de www.21stcentech.com

2.7 COMPONENTES BASICOS DEL AEROGENERADOR

Un aerogenerador o generador eólico está conformado básicamente por:

1. **Góndola:** Estructura metálica donde se instala el generador. Su dimensión y peso depende de la carga a soportar, se debe calcular teniendo en cuenta que sobre ella va una cubierta para protección de los componentes del sistema contra los efectos medioambientales.
2. **Rotor:** Convierte la energía cinética del viento en la energía mecánica utilizada para impulsar el generador eléctrico. Los elementos que constituyen el rotor son las aspas y el buje.
3. **Palas o aspas:** Están fabricadas y diseñadas con el fin de lograr la captación eficaz de la energía del viento y una carga mínima sobre la turbina. Los materiales de fabricación deben ser capaces de soportar las cargas máximas sin generar perjuicios al generador a lo largo de su vida útil, también deben tener un peso mínimo para aminorar cargas gravitatorias e inerciales. Pueden ser de madera, acero, aluminio o fibra de vidrio.
4. **Buje:** Es la pieza que une las palas entre si y a estas con el eje. Medio por el cual la potencia captada se trasmite al eje principal.
5. **Eje:** Conecta el buje del rotor al generador, este gira y permite el funcionamiento del generador eléctrico.
6. **Generador eléctrico:** Es la parte más importante del generador eólico, transforma la energía mecánica del eje, en energía eléctrica. Los generadores eléctricos más utilizados para sistemas eólicos han sido los generadores asíncronos (motores de inducción que se utilizan en forma

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

inversa haciéndolos girar a una velocidad mayor que su velocidad de sincronismo). Cuando a un motor de inducción, se le obliga a girar por encima de su velocidad de sincronismo, la potencia mecánica aplicada se trasforma en energía eléctrica. A mayor velocidad mayor potencia eléctrica se entrega a la red.

7. Torre: Su principal función es estructural, soporta la góndola y el rotor. El grosor y altura de la torre varían en función de las características de la turbina.

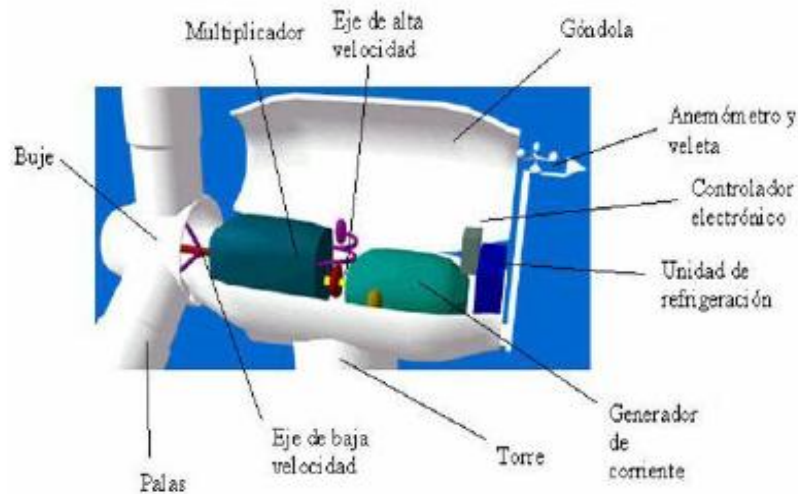


FIGURA 10 - COMPONENTES DE UN AEROGENERADOR
Imagen extraída de tecnoblogsanmartin.wordpress.com

2.8 GENERADORES DE IMANES PERMANENTES (PMG)

Un generador de imanes permanentes (PMG por sus siglas en inglés) es un generador síncrono en el que se ha sustituido el bobinado de excitación, normalmente en el rotor, por un sistema formado de imanes permanentes, que giran frente a unas bobinas fijas, las cuales producen una corriente proporcional a la velocidad, que el regulador utiliza como potencia de excitación. La tensión suministrada depende de los imanes, del bobinado y de las revoluciones, generalmente se fabrican PMG desde 200 rpm hasta 3600 rpm, y se acoplan según la aplicación. Existen dos tipos, de flujo radial y de flujo axial cuyo flujo de campo magnético opera paralelo al eje de giro. Las máquinas de flujo radial son las más usadas de las alternativas existentes en el mercado, la elección depende de las especificaciones que se buscan.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

El funcionamiento del PMG no es como un generador síncrono normal. En un generador usual, se controla la tensión mediante la excitación, en un PMG la excitación es constante por lo que al cargar el generador cae la tensión sin opción de regulación.

Es un sistema que suministra la intensidad de corto circuito de un alternador, los cuales últimamente se conciben como una herramienta valiosa en la conversión de energía eólica. La principal ventaja del uso de alternadores es su simplicidad, aunque presenta algunas otras como:

- Al funcionar con imanes permanentes no necesita mantenimiento ya que no lleva escobillas o contactos eléctricos internos de autoinducción.
- Son una solución adecuada en aplicaciones de baja potencia porque genera energía en operaciones a bajas RPM
- Se diseña de acuerdo a las aplicaciones específicas y se acopla directamente al sistema motriz
- Están constituidos con materiales que se pueden obtener en el mercado con relativa facilidad y economía
- La fabricación y montaje del rotor es más barata si se usan imanes.
- Puede servir para suministrar energía a sistemas auxiliares del generador principal

Los imanes utilizados son de última generación, los imanes comunes, cuando se abre el circuito magnético que los rodea pierden su imantación, mientras los utilizados la mantienen, por lo que se puede separar el rotor del estator sin perder propiedades magnéticas. Los imanes utilizados dependiendo del tipo, son capaces de trabajar hasta 140°C, siendo los imanes de 80°C los habituales. Se utilizan imanes de Neodimio Cobalto ya que son los que mejores propiedades tienen. Para el caso de generadores eólicos, los imanes pueden ser un problema ya que generan un par reluctante que impide arrancar el generador a bajas velocidades de viento, por esta razón se deben realizar todos los cálculos buscando eliminar casi completamente este efecto

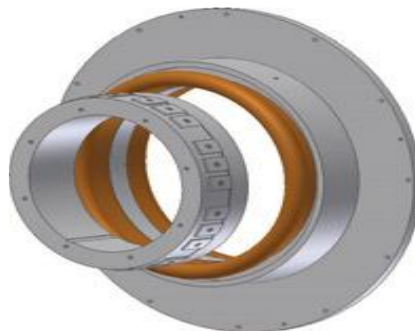


FIGURA 11 - IMAGEN GENERADOR Y ROTOR DE IMANES PERMANENTES
Imagen extraída de obeki.com

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

3. METODOLOGÍA

Con este trabajo se pretende aprovechar una de las muchas alternativas de generación de energía que se tienen hoy en día. Para realizar este trabajo se hizo una revisión cuidadosa de cada uno de los componentes del generador eólico analizando profundamente las diferentes opciones que existen hoy en día para el diseño y la elaboración de estos.

Para cada uno de los elementos que se mencionarán posteriormente se escogen los sistemas más productores, basados en referencias preliminares tomadas de diferentes artículos, investigaciones, tablas de los catálogos de distribuidores, referencias de otros elementos y equipos existentes, además de los criterios de análisis de los integrantes del proyecto para diseñar un generador eólico de baja potencia eficiente. El respaldo de la funcionalidad y los complementos de cada uno de los elementos escogidos se puede ver reflejado paso a paso en cada uno de los cálculos presentados.

Para este documento se evalúan cada uno de los factores que influyen en el proceso de la generación de energía tales como:

- La velocidad del viento
- Modificaciones en el alternador para su funcionamiento como generador
- Inversor
- Rectificador
- Baterías
- Eje
- Rodamientos
- Aspas
- Torre

Cada uno de estos elementos va relacionado el uno con el otro sea por sus características y/o funcionalidad ya que al ser un generador de baja potencia muchos de estos componentes tuvieron que ser modificados y acoplados a la función de cada uno de los demás elementos

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Diseño del rotor

El alternador usado para el diseño es un alternador marca Delco, con las siguientes características:

- 12 voltios
- 55 amperios
- 3600 rpm
- Diámetro interior: 10 cm
- Conexión en estrella
- Alambre calibre 14
- 7 bobinas por fase con 5 espiras por bobina.

Nota: Para aumentar el flujo magnético a través de las bobinas se reemplaza el bobinado original del alternador por 6 pares de polos con imanes permanentes

TABLA 2 Características de los imanes analizados (Datos tomados según anexo 3)

Material	Grado (MGOe)	Br(GAUSS)	Producto energía max. (KJ/m ³)	Largo (m)	Espesor (m)	Ancho (m)	Temp. max. de trabajo °C
NdFeB	N42	12900-13200	318-334	0.040	0.005	0.01	80

Estas características permiten hallar los datos iniciales para el diseño, comenzando con la energía magnética que los imanes pueden entregar, basados en la siguiente formula.

$$Em = \frac{1}{2} (B * H) * V * N$$

Dónde:

V= Volumen del imán (0.04 m*0.005 m*0.01 m= 2 * 10⁻⁶ m³)

N= Número de imanes = 12

B*H= Poder máximo E del imán utilizando (J /m³)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Para este caso sería:

$$E_m = \left[\frac{1}{2} \left(318000 \frac{J}{m^3} \right) * (2 * 10^{-6} m^3) * 12 \right] = 3,81 J$$

Para encontrar la potencia eléctrica máxima que se puede producir se tiene:

$$P_{elecmax} = E * \omega$$

Dónde:

E_m = Energía magnetostática

ω = Velocidad angular en rad/seg

Como 100 rpm equivalen a 10.4719 rad/seg, se da que

$$P_{elec max} = 3.81 J * 10.4719 \frac{rad}{seg} = 39.9 wats$$

TABLA 3 - Potencia eléctrica máxima que entregan los imanes respecto la velocidad:

Max. energía suministrada por los imanes = 3,81 J		
RPM	rad/seg	Pot. Elect. Max (W)
1	0,104719	0,398
100	10,4719	39,897
200	20,94	79,795
300	31,42	119,693
400	41,89	159,591
500	52,36	199,489
600	62,83	239,387
700	73,30	279,285

4.2 Diseño del estator

Inicialmente se debe definir el número de espiras, aprovechando los datos que se tienen del alternador (diámetro de alambre y número de espiras).

Para el calibre 14 AWG se tiene un diámetro de 1.628 mm (dato tomado de http://www.condumex.com.mx/ES/alambre_magneto)

$$A_{alambre} = \pi * r^2$$

$$A_{alambre} = 2.081 mm^2$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

Como se sabe que es de 5 espiras por bobina el área total es:

$$A_{total} = A_{alambre} * N_{espiras}$$

$$A_{total} = 2.081 \text{ mm}^2 * 5 = 10.40 \text{ mm}^2$$

Con estos datos se puede calcular el número de espiras máximo con el nuevo calibre que se va a utilizar, se seleccionará un calibre 24 el cual tiene un diámetro de 0.511 mm (dato tomado de http://www.condumex.com.mx/ES/alambre_magneto)

Para el nuevo número de espiras se tiene que:

$$A_{alambre\ 2} = \pi * r^2$$

$$A_{alambre\ 2} = 0.205 \text{ mm}^2$$

Despejando de la ecuación de área total se tiene:

$$N_{max_{espiras}} = \frac{A_{total}}{A_{alambre\ 2}} = \frac{10.40 \text{ mm}^2}{0.205 \text{ mm}^2}$$

$$N_{max_{espiras}} = 50,73 \approx 51 \text{ espiras por bobina}$$

Cuando se obtiene el número de espiras se procede a calcular el flujo magnético:

$$\phi = A * B$$

Dónde:

A = Área de las espiras = 0.0012 m²

B = Campo magnético dado en Teslas. Para hallarlo se utilizó el software Magnet Design Calculator como se muestra a continuación, dando un valor aproximado a 2,2 Teslas.

Por tanto el flujo magnético es

$$\phi = (0.0012 \text{ m}^2) * (2,2 \text{ Teslas}) = 2.64 \times 10^{-3} \text{ Weber (Wb)}$$

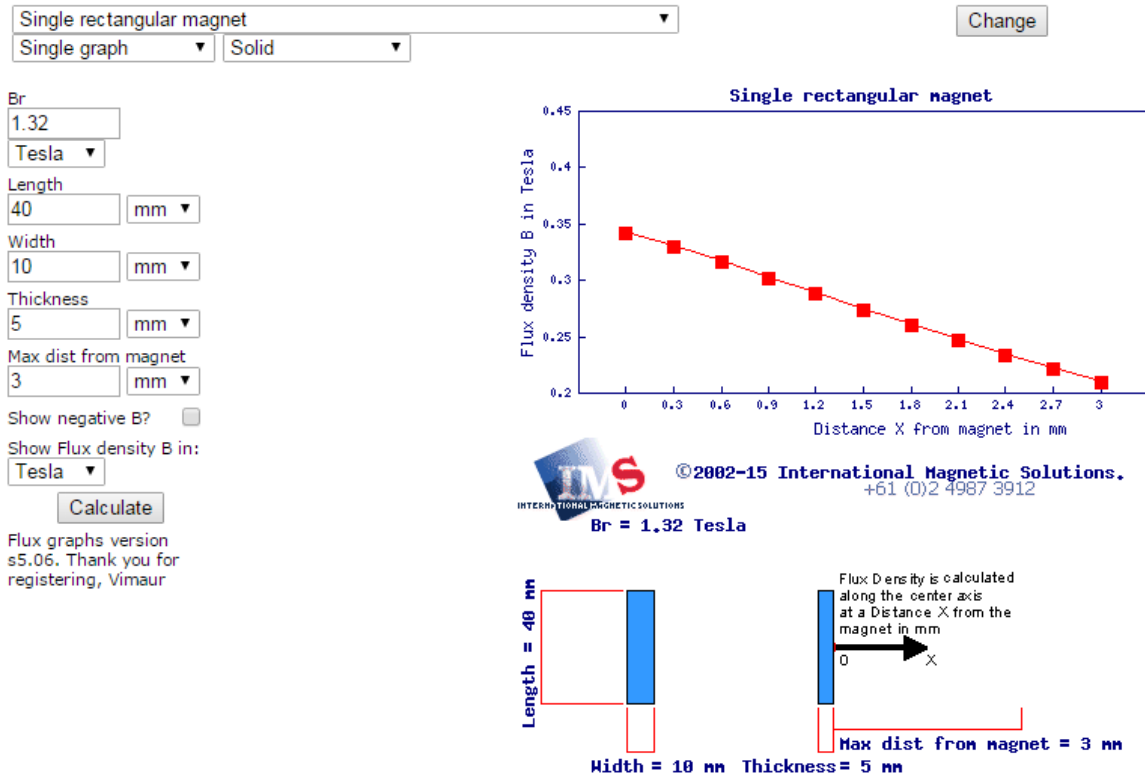


FIGURA 12 - VALOR DE FLUJO MAGNETICO HALLADO MEDIANTE EL SOFTWARE MAGNET DESIGN CALCULATOR

Obtenidos los datos anteriores se sustituyen en la ecuación que permite calcular el voltaje pico generado por una fase:

$$E_{max} = Nc * \phi * \omega$$

Dónde:

$Nc = 204$ (Como se pretende diseñar un generador trifásico se agrupan las 12 bobinas en grupos de 4 bobinas por fase. Este valor se multiplica por las 51 espiras halladas anteriormente)

ϕ = flujo magnético medido en webers

ω = Velocidad angular

$$E_{max} = 204 * (2.64 * 10^{-3} \text{ Wb}) * 10.472 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$E_{max} = 5.64 \text{ volts_pico}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

A continuación se presentan los datos teóricos eléctricos calculados, es necesario recordar que el dispositivo no fue fabricado por lo que resulta imposible compararlo con datos reales.

TABLA 4 – PARAMETROS INICIALES DE MEDICION

PARAMETROS INICIALES	
Número de pares de polos	6
Número de bobinas por fase	4
Número de espiras por bobina	51
Número de espiras por fase (Nc)	204
Flujo magnético en Webers	0,00264
E. máx. dada por los imanes (J)	3,81
Resistencia cable calibre 14 (Ohm/Km)	8,28

TABLA 5 – RESULTADOS TEORICOS EN BASE A LA VELOCIDAD DE GIRO.

RESULTADOS TEORICOS									
VELOC. DE GIRO (RPM)	VELOC. (rad/s)	FREC. (Hz)	POT. ELECT. MAX. (W)	POT. GENERADA (W)	FEM INDUCIDA (V)	TENSION EFICAZ DE LINEA (V)	TENSION EFICAZ DE FASE (V)	I DE FASE (A)	EFIC. (%)
1	0,10	0,05	0,4	0,0002	0,056	0,040	0,023	0,003	0,04
100	10,47	5	39,9	1,57	5,64	3,99	2,30	0,278	3,93
200	20,94	10	79,8	6,27	11,28	7,98	4,60	0,556	7,86
300	31,42	15	119,7	14,11	16,92	11,964	6,90	0,834	11,8
400	41,89	20	159,6	25,09	22,56	15,952	9,21	1,11	15,72
500	52,36	25	199,5	39,20	28,2	19,94	11,51	1,39	19,65
600	62,83	30	239,4	56,46	33,84	23,93	13,815	1,67	23,58
700	73,30	35	279,3	76,84	39,48	27,915	16,12	1,95	27,51
800	83,78	40	319,2	100,37	45,12	31,90	18,42	2,225	31,45
900	94,25	45	359	127,03	50,76	35,89	20,72	2,50	35,38
1000	104,72	50	398,9	156,82	56,4	39,88	23,02	2,78	39,31

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

4.3 Rectificador

Un rectificador es un dispositivo que convierte tensión alterna en tensión continua, se utiliza como parte del sistema de velocidad variable de la turbina eólica. Su función es la de transformar la corriente que sale del generador de imanes permanentes de forma alterna trifásica en corriente continua.

Para su selección, se debe considerar tanto la tensión como la intensidad que circula por él, en este caso se utilizará el siguiente puente rectificador:

M35 - Puente rectificador trifásico de diodos 26A x PMA500W (código M20)



FIGURA 13 - RECTIFICADOR

Imagen extraída de <http://www.Imagency.biz/contents/es/p23.html>

Para alternador de imán permanente de 500W (código M20), tiene tensión de encendido de 1.2 voltios, soporta corrientes pico de hasta 250 amperios y tensiones inversas mayores a 600 voltios, además posee tres terminales para la entrada de tres fases y dos para salida de la corriente rectificadora (positivo y negativo).

4.4 Convertidor CC/CA

La función del convertidor CC/CA o Inversor es la de transformar la tensión DC de salida en tensión AC sincronizada a la tensión de red. Un inversor es un conjunto de interruptores de potencia con cierre coordinado según una estrategia de control.

El aspecto de un inversor es similar al de un puente rectificador de diodos trifásico con la diferencia de que los diodos son sustituidos por elementos conmutables controlados externamente.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

En este caso, el inversor tendrá como entrada la tensión continua proporcionada por el rectificador y la fuente de tensión continua. Esta tensión impondrá la velocidad de giro de la maquina optimizada para las condiciones de viento existentes en cada momento. Este inversor puede convertir la corriente acumulada en las baterías de 12V DC a 110/220V AC



FIGURA 14 - CONVERTIDOR CC/CA
 Imagen extraída de <http://www.lmagency.biz/contents/es/p31.html>

4.5 Baterías estacionarias

Las baterías estacionarias permiten almacenar la energía producida por el sistema del aerogenerador mientras ésta no es utilizada, para este caso un banco de 12 baterías de 12 voltios cada una para poder soportar la cantidad de corriente que suministra el generador.



FIGURA 15 - BATERÍA ESTACIONARIA
 Fuente: https://autosolar.es/baterias/bateria-12v/Bater%C3%ADa-AGM-12V-24Ah-VISION_precio

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

4.6 Criterios para selección de aspas

Uno de los aspectos más importantes en el diseño de palas es la elección de los materiales empleados para la fabricación. La selección adecuada de estos materiales es vital ya que las propiedades estructurales y la vida útil de la turbina dependen en gran medida de los materiales utilizados.

El material compuesto más utilizado en la actualidad es la fibra de vidrio con resina de poliéster (GRP, glass reinforced plastic). Este tipo de material se ha empleado en la industria naval y presenta como ventajas fundamentales su versatilidad de fabricación, sus propiedades estructurales y de resistencia a la fatiga. Tienen también un bajo coeficiente de dilatación y una conductividad eléctrica nula brindando protección del sistema frente a rayos.

La mayoría de aerogeneradores modernos tienen diseños tri-pala, con rotor a barlovento (en la cara de la torre que da al viento), a este diseño se le llama el “concepto danés”, y tiende a imponerse debido a que cuando el viento tiene velocidades muy altas, es suficiente con un número pequeño de palas. Además, los aerogeneradores con un número impar de palas son más estables.

La gran mayoría de las turbinas vendidas actualmente en los mercados mundiales poseen este diseño, por tanto los cálculos de diseño presentes en este documento, están dados para un aerogenerador con tres palas.

4.6.1 Nomenclatura de perfiles NACA de 4 cifras

En general los tipos de perfiles usados en las maquinas eólicas son de la serie NACA (National Advisory Committee of Aeronautics) y están determinadas por un conjunto de cifras que definen su geometría

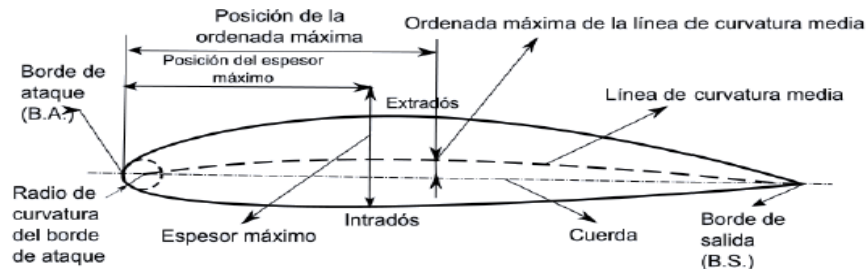


FIGURA 16 - PERFIL DE ASPA
 Imagen extraída de avionica.yolasite.com

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- La primera cifra tiene un significado geométrico e indica la máxima flecha de línea media de la cuerda en %, proporcionando la máxima curva.
- La segunda cifra tiene un significado geométrico, e indica su posición, es decir, la distancia desde el borde de ataque hasta la posición de la máxima flecha de línea media o máxima curvatura.
- Las dos últimas cifras indican el espesor relativo máximo en % respecto a la cuerda.

4.6.2 selección de perfil:

Para la selección del perfil aerodinámico es posible utilizar el demo del software DESIGNFOIL, el cual permitirá escoger el perfil NACA adecuado para cualquier caso, los datos obtenidos en este software fueron los siguientes:

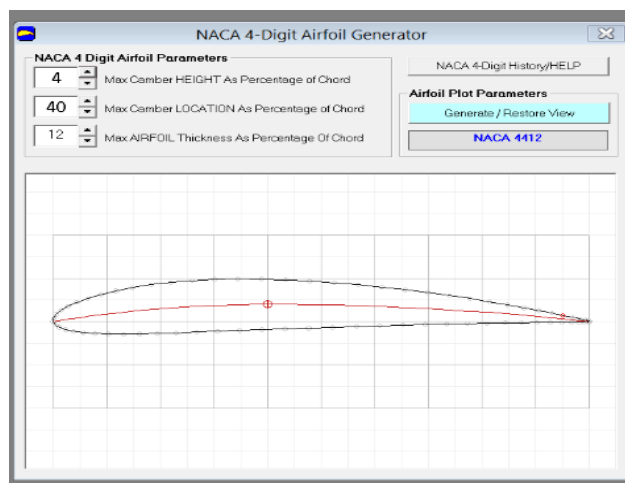


FIGURA 17 - PERFIL NACA 4412 VISTO DESDE EL SOFTWARE DESIGNFOIL

Para esta aplicación se utiliza el perfil NACA 4412, es uno de los perfiles más utilizados en los generadores de baja potencia ya que sus características aerodinámicas lo hace uno de los más eficientes.

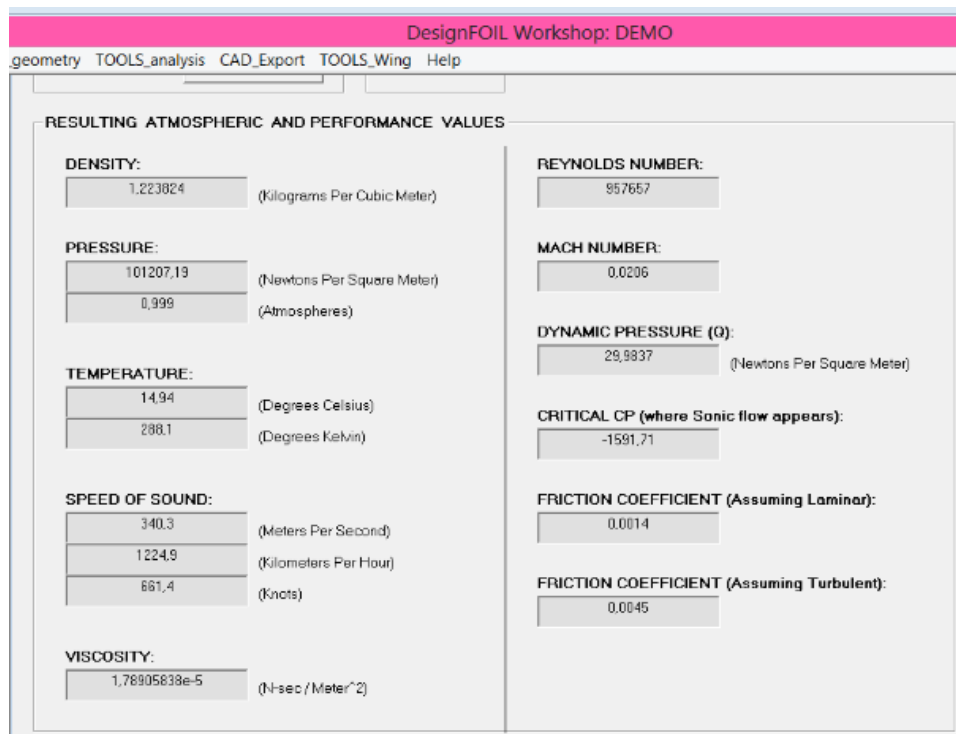


FIGURA 18 – VALORES ATMOSFERICOS DEL PERFIL NACA 4412 OBTENIDOS EN EL SOFTWARE DESIGNFOIL

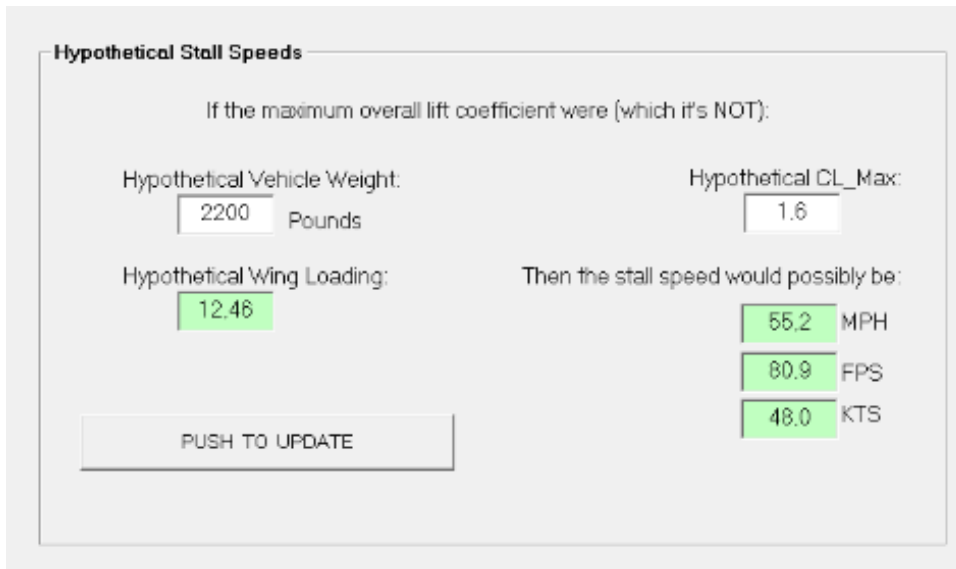


FIGURA 19 – PERDIDA HIPOTÉTICA DE VELOCIDAD EN EL PERFIL NACA 4412

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

4.7 Cálculos del eje que se utilizará

Para conocer el diámetro del eje, se utiliza la ecuación siguiente:

$$D = \left[\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left[\frac{K_t M}{s'_n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{s_y} \right]^2} \right]^{1/3}$$

(Ecuación tomada del libro Diseño de elementos de máquinas de Robert L. Mott, compatible con la norma ANSI B106.IM-1985)

Donde N: Factor de diseño = 2.5 ya que existen cargas de choque e impacto, además incertidumbre en los datos.

K_t : Factor de concentración de esfuerzos

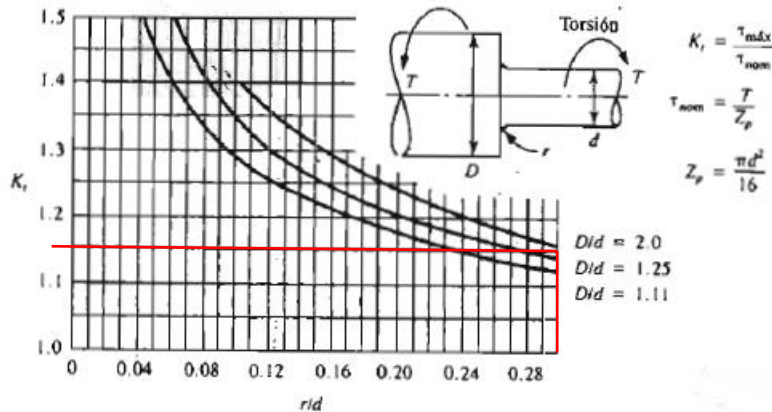


FIGURA 20 – FACTOR DE CONCENTRACION DE ESFUERZO
Tomada del libro Diseño de elementos de máquinas (Robert L. Mott)

Asumiendo $D=1.5$ pulgadas; $d=1$ pulgada; $r=0.3$

Tenemos que $D/d = 1.5$; $r/d = 0.3$ por tanto $K_t= 1.15$

Para hallar M y T, se utilizan las gráficas de momento y torque, calculando inicialmente las cargas en el eje, de la siguiente manera:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

$$\text{Volumen rotor} = (\pi \div 4)(0,1 \text{ m})^2(0,06 \text{ m}) = 4,71 * 10^{-4} \text{ m}^3 = 471 \text{ cm}^3$$

Como esta parte se fabrica en aluminio, la densidad es $2,7 \text{ g/cm}^3$, por lo tanto la masa es

$$2,7 \text{ g/cm}^3 \times 471 \text{ cm}^3 = 1,271 \text{ Kg}$$

$$\text{La fuerza aplicada en el rotor sería} = 1,271 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 12,46 \text{ N}$$

Para hallar la fuerza en el extremo del eje donde se ubican las palas, se realiza un procedimiento similar al anterior, se diseñan dos discos de aluminio donde se instalarán las aspas con las siguientes características:

Diámetro = 13 cm

Espesor = 2 cm

$$\text{Volumen discos} = (\pi \div 4)(13 \text{ cm})^2(2 \text{ cm}) = 265,46 \text{ cm}^3$$

$$\text{Masa discos} = 2,7 \text{ g/cm}^3 \times 265,46 \text{ cm}^3 = 0,716 \text{ Kg}$$

$$0,716 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 7,03 \text{ N} * 2 \text{ discos} = 14,06 \text{ N}$$

Para las aspas se tiene la siguiente forma (por simplicidad en los cálculos se asume que las aspas son de forma rectangular):

Alto: 100 cm

Ancho: 9 cm

Espesor: 1,2 cm

$$\text{Volumen aspas} = (100 \text{ cm})(9 \text{ cm})(1,2 \text{ cm}) = 1080 \text{ cm}^3$$

$$\text{Masa aspas} = 2,7 \text{ g/cm}^3 \times 1080 \text{ cm}^3 = 2,916 \text{ Kg}$$

$$2,916 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 28,60 \text{ N} * 3 \text{ aspas} = 85,81 \text{ N}$$

$$\text{La fuerza total en este punto es} = F \text{ aspas} + F \text{ discos} = 85,81 \text{ N} + 14,06 \text{ N} = 99,87 \text{ N}$$

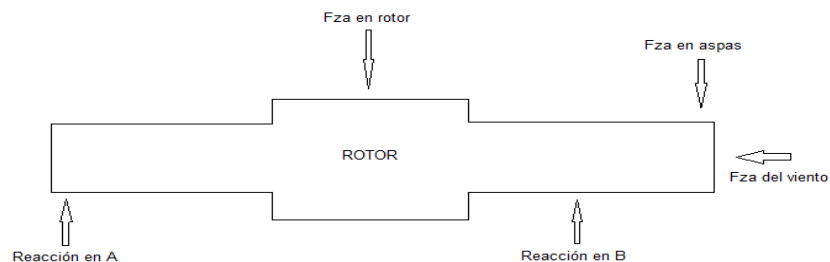


FIGURA 21 – FUERZAS APLICADAS EN EL EJE (Fuente: Autores)

Utilizando el software MDSolids es posible hallar las reacciones en los rodamientos.

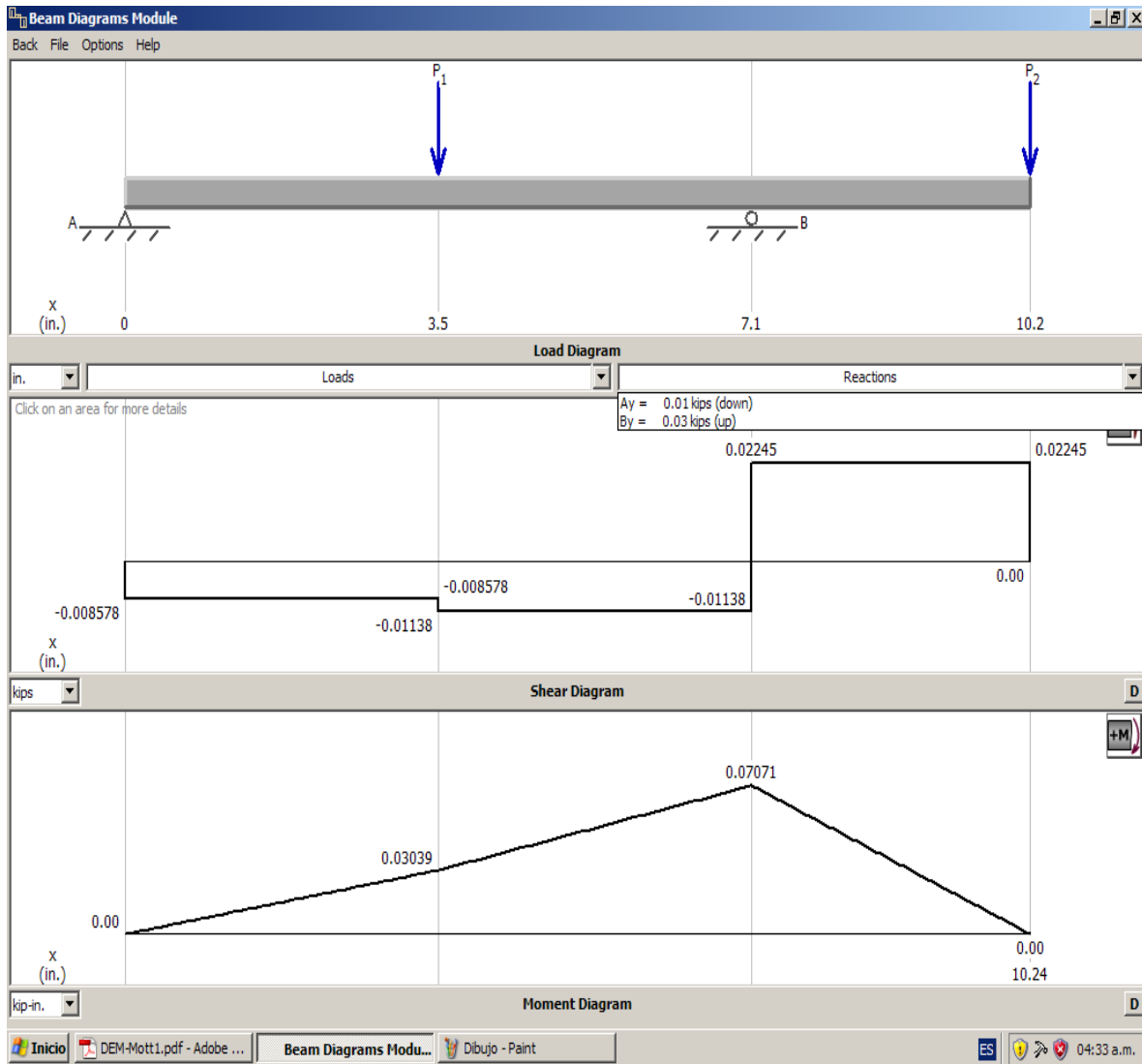


FIGURA 22 - REACCIONES EN LOS RODAMIENTOS

Para Sy: Factor de fluencia del material. (Acero Inoxidable AISI 316) = 30 Ksi o 207 MPa

PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES

Designación del material			Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en pulgadas)
Número AISI	UNS	Condición	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	
Aceros austeníticos							
201	S20100	Recocido	115	793	55	379	55
		1/4 duro	125	862	75	517	20
		1/2 duro	150	1030	110	758	10
		3/4 duro	175	1210	135	931	5
		Duro total	185	1280	140	966	4
301	S30100	Recocido	110	758	40	276	60
		1/4 duro	125	862	75	517	25
		1/2 duro	150	1030	110	758	15
		3/4 duro	175	1210	135	931	12
		Duro total	185	1280	140	966	8
304	S30400	Recocido	85	586	35	241	60
316	S31600	Recocido	95	655	45	310	45
Aceros ferríticos							
405	S40500	Recocido	70	483	40	276	30
430	S43000	Recocido	75	517	40	276	30
446	S44600	Recocido	80	552	50	345	25

FIGURA 23 – PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES

Fuente: Libro Diseño de elementos de máquinas (Robert L. Mott) Apéndice 6

Por último $S_n' = S_n (C_m) (C_{st}) (C_R) (C_s)$

Donde C_m : Factor de material = 1.00 para acero forjado

Acero forjado:	$C_m = 1.00$	Hierro colado maleable:	$C_m = 0.80$
Acero colado:	$C_m = 0.80$	Hierro colado gris:	$C_m = 0.70$
Acero pulverizado:	$C_m = 0.76$	Hierro colado dúctil:	$C_m = 0.66$

FIGURA 24 – FACTOR DE MATERIAL

Fuente: Libro Diseño de elementos de máquinas (Robert L. Mott)

C_{st} : Factor tipo de esfuerzo = 1.0 para esfuerzo flexionante.

C_R : Factor de confiabilidad = 0.90

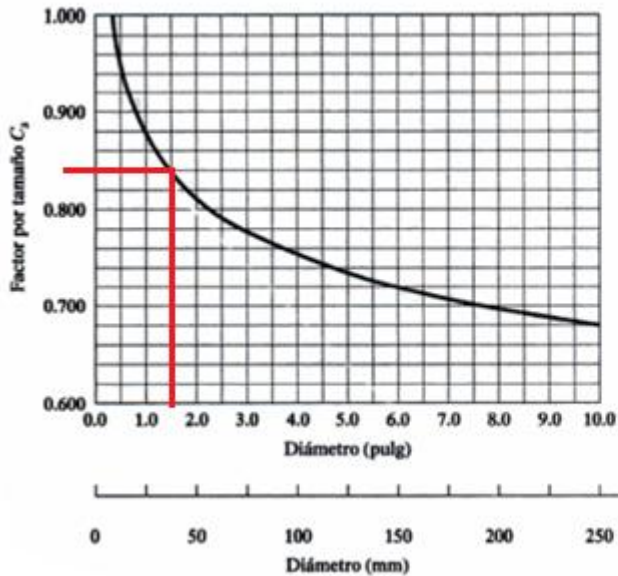
Factores de confiabilidad aproximados C_R	
Confiabilidad deseada C_R	
0.50	1.0
0.90	0.90
0.99	0.81
0.999	0.75

FIGURA 25 – TABLA FACTOR DE CONFIABILIDAD

Fuente: Libro Diseño de elementos de máquinas (Robert L. Mott)

Para hallar C_s (Factor tamaño) se utiliza la siguiente tabla.

Con $D=1.5''$ se tiene que $C_s = (1.5 / 0.3)^{-0.11} = 0.84$



Unidades del Sistema Estadounidense Tradicional

Rango de tamaño	Para D en pulgadas
$D \leq 0.30$	$C_S = 1.0$
$0.30 < D \leq 2.0$	$C_S = (D/0.3)^{-0.11}$
$2.0 < D < 10.0$	$C_S = 0.859 - 0.02125D$

Unidades SI

Rango de tamaño	Para D en mm
$D \leq 7.62$	$C_S = 1.0$
$7.62 < D \leq 50$	$C_S = (D/7.62)^{-0.11}$
$50 < D < 250$	$C_S = 0.859 - 0.000837D$

FIGURA 26 – FACTOR DE TAMAÑO

Fuente: Libro Diseño de elementos de máquinas (Robert L. Mott)

Para S_n (Resistencia a la fatiga para material maquinado) se compara ésta en función de la resistencia a la tensión para acero inoxidable AISI 316 (80 Ksi), según la figura siguiente, el resultado será 30 Ksi

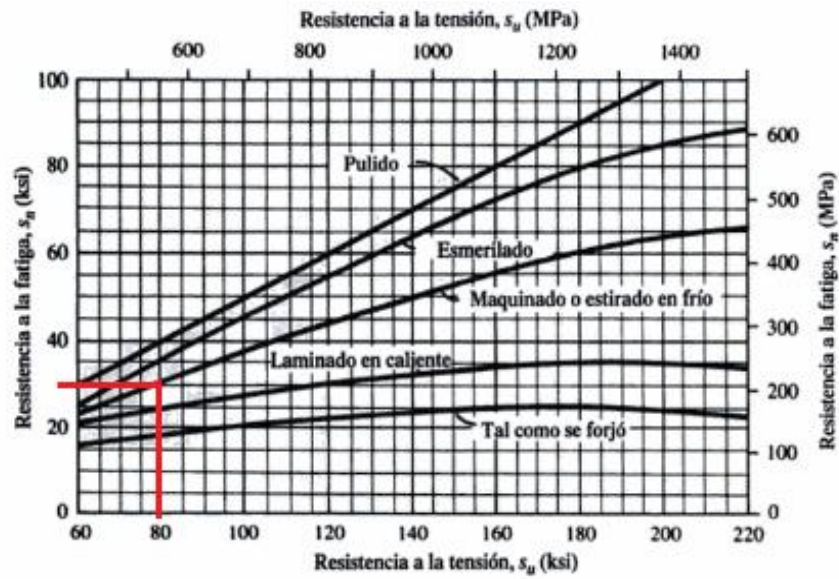


FIGURA 27 – RESISTENCIA A LA FATIGA

Fuente: Libro Diseño de elementos de máquinas (Robert L. Mott)

Relacionando todos los datos hallados en la formula inicial se tiene que

$$D = \left[\frac{32 * 2.5}{\pi} \sqrt{\left(\frac{1.15 * 0.07071}{173.88} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{0.02245}{30} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

D mínimo eje = 0,276 in = 7 mm

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

4.8 Cálculo de las cargas que actúan sobre la torre.

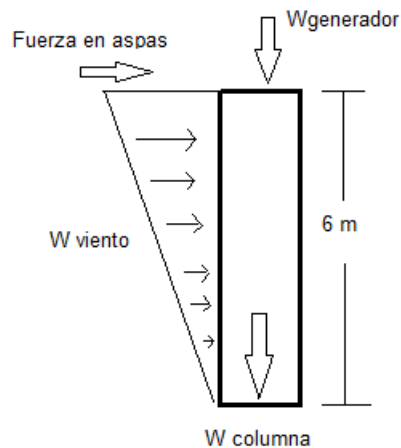


FIGURA 28 – FUERZAS ACTUANTES SOBRE LA TORRE (Fuente: Autores)

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$F = C_d * A * \rho * \frac{V^2}{2}$$

Donde F: Fuerza de arrastre

A: Área proyectada por el cuerpo en el plano normal al flujo

ρ : Densidad del fluido

V: Velocidad del fluido

C_d : Coeficiente de arrastre

Para calcular el C_d , es necesario hallar el número de Reynolds

$$R = (U * D) / \nu$$

Donde ν : Viscosidad cinemática del fluido ($1.79 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, a una temperatura de 50°C)

U: Velocidad del viento, la cual por razones de seguridad se toma más alta de lo habitual (14 m/s)

D: Diámetro exterior del tubo de 2" que servirá como torre, donde va instalado el generador = 60,3 mm (Dato tomado del fabricante según anexo 1).

Reemplazando en la ecuación

$$R = (14 \text{ m/s} * 0.063 \text{ m}) / (1.79 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}) = 49658.82$$

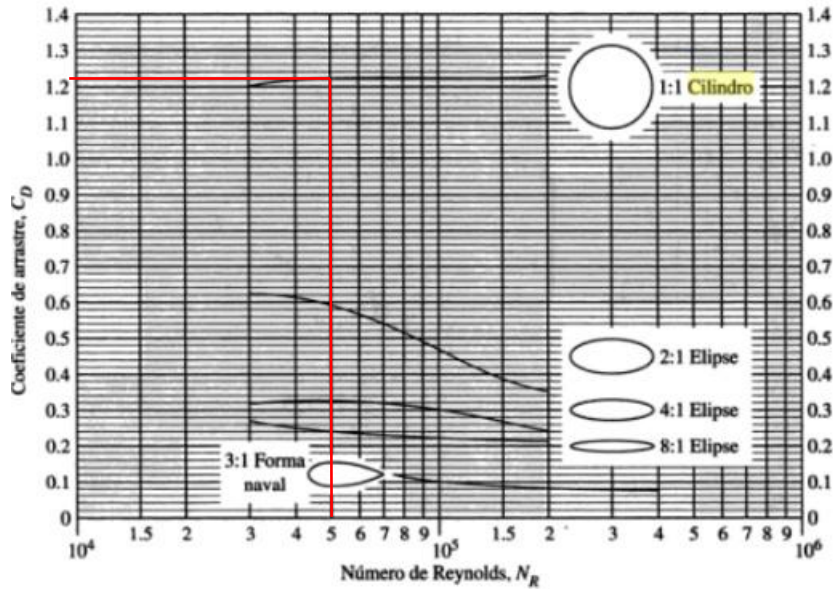


FIGURA 29 - COEFICIENTES DE ARRASTRE PARA CILINDROS
Fuente: Libro Mecánica de fluidos (Robert L. Mott)

El área es

$$A = 6\text{ m} \times 0.0603\text{ m} = 0.3618\text{ m}^2$$

La densidad es

$$\rho = 1.0556\text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Por tanto } F_{\text{arrastre}} = 1.22 \cdot 0.3618\text{ m}^2 \cdot 1.0556\text{ Kg/m}^3 \cdot (196/2\text{ m}^2/\text{s}^2) = 45.6\text{ Kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2 = 45.66\text{ N}$$

El peso de la columna está dado por el fabricante, siendo este 32.64 Kg.

$$W_{\text{columna}} = 32.64\text{ Kg} \cdot 9.8\text{ m/s}^2 = 320\text{ N}$$

Como el generador no fue fabricado se asume un peso de 40 Kg.

$$W_{\text{aerogenerador}} = 40\text{ Kg} \cdot 9.8\text{ m/s}^2 = 392.4\text{ N}$$

El momento de torque se halla de la siguiente manera (F arrastre = Fuerza en las aspas)

$$M = F_{\text{arrastre}} \cdot \text{distancia} = 45.66\text{ N} \cdot 6\text{ m} = 273.97\text{ N}\cdot\text{m}$$

El peso del viento será la fuerza de arrastre aplicada a 4 metros de altura o 2/3 de la base por ser una fuerza distribuida

$$W_{\text{viento}} = 45.66\text{ N} \cdot 4\text{ m} = 182.64\text{ N}\cdot\text{m}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

4.9 Selección de rodamientos

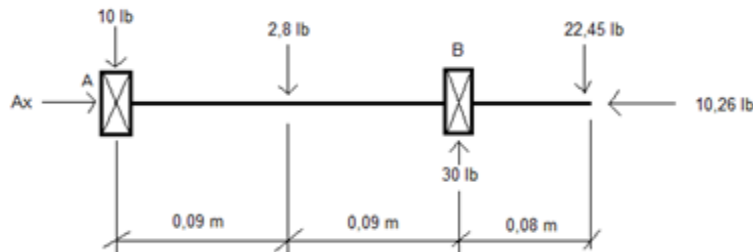


FIGURA 30 – CARGAS EN LOS RODAMIENTOS (Fuente: Autores)

En este caso se toma para el análisis el rodamiento que posee mayor carga (B), del tipo rodillos esféricos ya que tienen las siguientes características:

- Una excelente capacidad de carga radial
- Buena capacidad de carga axial o de empuje
- Excelente capacidad de desalineamiento

El proceso de selección inicia con el cálculo de la carga equivalente

$$P = VXR + YT$$

Donde P: Carga equivalente

V: Factor por rotación = 1.0 (Se asume que la pista interior es la que va a rotar)

R: Carga radial aplicada = 30 lb

T: Carga de empuje aplicada = 10,26 lb

X: Factor radial = 0,56 (Para todos los valores de Y)

Y: Factor de empuje = 1,50 (Valor aproximado a la mitad del intervalo de valores posibles)

Reemplazando en la ecuación $P = (1,0)(0,56)(30 \text{ lb}) + (1,50)(10,26 \text{ lb}) = 32,19 \text{ lb}$

Luego se halla la capacidad de carga dinámica básica requerida (C) con la ecuación

$$C = P f_L / f_N$$

Donde f_L = Factor por duración para 30.000 horas

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

f_N = Factor por velocidad para 100 RPM (Velocidad máxima para la cantidad de potencia eléctrica necesaria, según tabla # 3)

Factores de duración y velocidad para rodamientos de rodillos

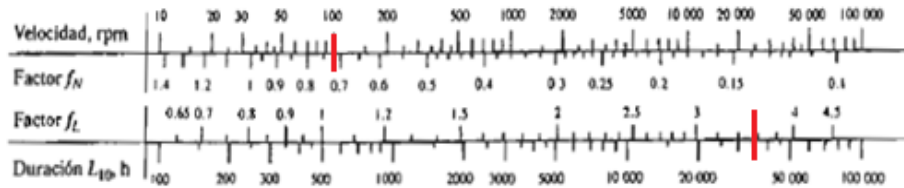


FIGURA 31 - FACTORES DE DURACION Y VELOCIDAD PARA RODAMIENTOS DE RODILLOS

Fuente: Libro Diseño de elementos de máquinas (Robert L. Mott)

Reemplazando en la ecuación anterior

$$C = P f_L / f_N = (32,19 \text{ lb} * 3,5) / 0,72 = 156,48 \text{ lb}$$

Según estos resultados y teniendo en cuenta que el diámetro mínimo del eje es de 7 mm, es posible utilizar un rodamiento 6200 con diámetro interno de 10 mm y capacidad de carga dinámica (C) de 885 lb, aunque se debe realizar la verificación de estos datos de la siguiente manera:

$$T / C_o$$

Donde T: Carga de empuje aplicada = 10,26 lb

Co: Capacidad básica de carga estática para rodamiento 6200 = 520 lb

Quedando de la siguiente manera $10,26 \text{ lb} / 520 \text{ lb} = 0,0197$

De acuerdo con la siguiente tabla e interpolando se debe hallar el valor de la carga límite de empuje (e)

e	T / Co	Y
0,19	0,014	2,30
0,20	0,0197	2,174
0,22	0,028	1,99

Luego buscamos T/R (Este valor debe ser mayor que el valor encontrado para e).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

$$T/R = 10,26 \text{ lb} / 30 \text{ lb} = 0,342 > 0,20 \text{ (Cumple)}$$

Recalculando con los nuevos valores P y C

$$P = (1,0)(0,56)(30 \text{ lb}) + (2,174)(10,26 \text{ lb}) = 39,10 \text{ lb}$$

$$C = (39,10 \text{ lb} * 3,5) / 0,72 = 190 \text{ lb}$$

De esta manera se verifica que el rodamiento 6200 se puede utilizar en este diseño, ya que la capacidad básica de carga dinámica de este es de 885 lb, la cual es muy superior a la calculada de 190 lb.

4.10 Aspectos de seguridad

Antes de hablar sobre las rutinas de mantenimiento se debe mencionar algo sobre la seguridad, específicamente se deben tener en cuenta dos aspectos. Los aspectos generales que pueden afectar la seguridad de las personas y los aspectos que pueden afectar la seguridad del equipo.

El primer requisito de seguridad en turbinas de viento debe ser que la resistencia estructural y su operación presenten el riesgo mínimo en cuanto a su confiabilidad. Los aspectos más importantes de seguridad son:

- La resistencia estructural de las palas del rotor:
Es recomendable el monitoreo constante de los componentes de transmisión por medio de indicadores (ejemplo temperatura y presión), ya que una falla en las aspas tiene un riesgo especial. Existe el temor que las palas se rompan al estar sometidas a una tormenta, aunque es poco probable que suceda ya que normalmente esto se puede calcular de manera muy precisa al momento de identificar las cargas de rotura, el peligro radica mayormente en la fatiga del material.
En casos de generadores fabricados artesanalmente o de manera poco profesional sin los análisis adecuados se puede dar que las aspas salgan volando o derriben la turbina o la estructura.
- Paro del rotor:
Ningún otro sistema garantiza tanto la seguridad como la posibilidad de detener el rotor en el menor tiempo posible, o sea, el sistema de frenado del rotor es el sistema de seguridad dominante en la turbina eólica. Sin el frenado inmediato la velocidad del rotor se incrementaría rápidamente y lo destruiría en pocos segundos debido a las fuerzas centrífugas. Para evitar que esto suceda se pueden utilizar interruptores centrífugos que actúan por resortes pretensados al momento de la sobrevelocidad, turbinas más recientes utilizan frenos aerodinámicos accionados hidráulicamente. En pequeñas turbinas se puede utilizar un freno mecánico.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- Vibraciones e inestabilidad:**
La aparición de resonancia en todas las partes debe ser monitoreado con un sistema especial de detección de vibración. En turbinas grandes se utilizan acelerómetros en puntos críticos del equipo o sensores medidores de deformación. En turbinas pequeñas se usan comúnmente detectores de vibración mecánica simples, compuestos por una bola de acero conectada a un conmutador a través de una cadena y que se apoya en un agujero poco profundo, cuando se da una vibración fuerte ocasiona la caída de la bola activando el sistema de frenado.

 - Seguridad del equipo eléctrico:**
Se deben seguir recomendaciones de entidades nacionales e internacionales reguladoras que tengan relación con generación de energía eléctrica. Dichas medidas deben ser conocidas y respetadas por el personal de operación y mantenimiento del equipo. En pequeñas turbinas los lineamientos que se tienen son diferentes, ya que generan diferentes rangos de tensión (baja y media tensión)
- Aparte de los aspectos de seguridad mencionados anteriormente, también se debe tener en cuenta los efectos externos y medio ambientales que pueden generar fallas en el equipo:
- Rayos:**
Se debe poseer un sistema de protección para evitar que elementos eléctricos y electrónicos sean deteriorados por exceso de voltaje. El principal componente afectado por los rayos serían las aspas y si estas son fabricadas en metal serían un conductor ideal.

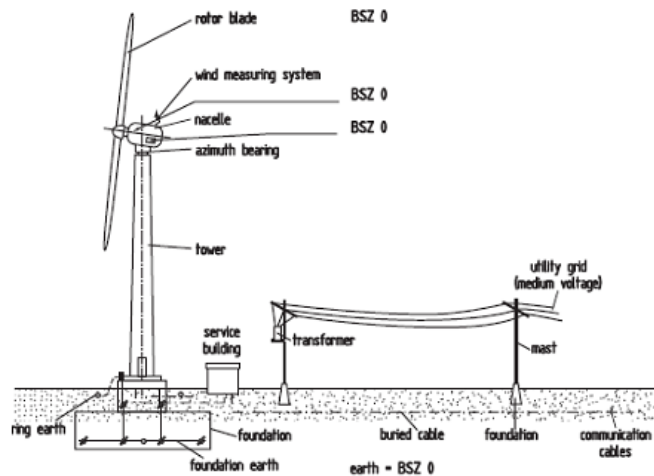


FIGURA 32 - SISTEMA DE PROTECCION A TIERRA

Imagen extraída de wind turbines fundamentals, technologies, application, economics

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

- Congelamiento:**
 Uno de los efectos medioambientales que puede llevar a la disminución de la seguridad operativa es la acumulación de hielo. Este se puede formar en cualquier parte del generador, pero especialmente en aberturas y entradas de ventilación, además del anemómetro.
 Puede ser muy perjudicial en equipos que han estado fuera de servicio y se deben poner en marcha nuevamente. Cuando el hielo se forma en las aspas afecta la eficiencia aerodinámica y aumenta las cargas, si se da en el rotor aumenta la fricción disminuyendo bastante la vida útil.
- Tráfico aéreo:**
 Para las turbinas de viento se tienen regulaciones especiales, al igual que los edificios requieren de advertencias para el tráfico aéreo. Se especifica que las luces de emergencia y alerta solo son necesarias en el techo, además se pintaran las puntas de las aspas con marcas rojas y naranjas, con el fin de hacerlas notar en el día.

4.11 Plan de mantenimiento

Igual que cualquier sistema, las turbinas de viento y todos los componentes electromecánicos (ejes, rodamientos, engranes, generador, etc.) deben ser chequeados regularmente y en caso de encontrar algún defecto este se debe reparar inmediatamente. Las razones principales para definir una rutina de mantenimiento son dos, las condiciones ambientales difíciles donde funcionan estos equipos (salinidad, humedad del aire) que aumentan la posibilidad de corrosión de sus partes y las altas horas de operación durante la vida útil de la turbina, especialmente cuando como en estos casos se tienen fuertes cargas dinámicas.

Por medio de este plan de mantenimiento se busca indicar un conjunto de actividades planificadas con las cuales se conseguirá que sean restauradas constantemente cada uno de las partes del aerogenerador propuesto. El propósito es prever las fallas manteniendo los sistemas de operación en niveles óptimos de eficiencia, además detectar las fallas que este tenga en su fase inicial y así corregirlo de manera inmediata.

El mantenimiento de rutina cubre las siguientes áreas:

- Comprobación de los componentes principales, por ejemplo, inspección visual de las palas del rotor, ejes, cajas de engranajes, verificación de ajuste de los tornillos)
- Cambio de aceite en la caja de cambios y componentes hidráulicos, si es necesario.
- Pruebas de funcionamiento (presión hidráulica, paros de emergencia)

Actualmente se realizan esfuerzos para diseñar equipos libres de mantenimiento, ya que los costos directos pueden ser bastante altos, sin embargo a continuación se presenta un plan de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

mantenimiento que puede ser tomado como base, aunque la realización y seguimiento de este depende de las condiciones puntuales de cada ubicación y aplicación.

TABLA 6 - Plan de mantenimiento

Componente	Periodo de tiempo	Trimestral	Semestral	Anual
1. Generador				
Pintado				X
Inspección de imanes			X	
Ajuste de pernos		X		
2.Rotor				
Desmontaje, limpieza, pintado				X
Ajuste de pernos		X		
Lubricación de rodamientos		X		
3.Tornamesa o base de eje				
Pintado				X
Engrase de discos		X		
Ajuste de pernos		X		
4.veleta o timón				
Pintado				X
Engrase del pivót		X		
Ajuste de pernos		X		
5. Torre				
Pintado				X
Ajuste de pernos		X		
Inspección y ajuste de tensores			X	
6.Cables eléctricos				
Inspección de cable y protección			X	
7.Baterias				
Revisar nivel de agua		X		
Revisar nivel de carga		X		
8.puente rectificador				
Inspección de diodos		X		
Revisión de bornes		X		
9.convertidor				
Revisión de bornes		X		
10.Asas				
Pintado				X
Ajustes			X	

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Conclusión general:

Este proyecto, está realizado finalmente cumpliendo con el objetivo de diseñar un aerogenerador de baja potencia, el cual esta específicamente pensado para abastecer de energía diversos tipos de aplicaciones de bajo consumo y dirigido básicamente a regiones rurales con dificultad para obtener una apropiada fuente de energía. Cada una de las investigaciones y de los cálculos que se realizan en este son y/o fueron modificados buscando dar solución a esta necesidad.

Una de las principales ventajas que se observan en el análisis realizado es que gracias al dimensionamiento del equipo, incluidas las aspas, es de fácil control y movilidad a la hora de realizar la instalación, demostrando que para generar la cantidad de energía apropiada para el uso pensado no se necesita un sistema y diseño exagerado.

Gracias a las nuevas tecnologías se pueden encontrar gran variedad de componentes adaptables a este pequeño generador permitiéndole aumentar su eficiencia, como se describe en el desarrollo de este trabajo y en las explicaciones de cada uno de las partes constitutivas.

Conclusiones complementarias:

1. Este diseño tiene especificado cada uno de los componentes que hacen parte de todo el aerogenerador teniendo una adecuada descripción de la funcionalidad y del papel desempeñado. Están incluidos tanto los elementos mecánicos como los eléctricos teniendo así un paso a paso detallado de todos los componentes del equipo.
2. Se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo adecuado para cada uno de los componentes del aerogenerador. Muestra lo que se debe realizar y los lapsos de tiempo en los que es recomendado realizarlo para evitar fallas repentinas en el aerogenerador y un óptimo funcionamiento de cada uno de los elementos prolongando así su vida útil.
3. Se muestra detalladamente la forma adecuada de ensamble para los elementos más importantes tanto mecánicos como eléctricos del aerogenerador, especificando medidas, diámetros y detalles.

Recomendaciones:

En este diseño se puede explorar un poco más, teniendo en cuenta los sistemas de control para el aerogenerador, hoy en día se observan diferentes tipos de aerogeneradores que pueden ser desarrollados con sistemas de control que son utilizados para optimizar y mejorar la funcionalidad de cada una de las partes del aerogenerador, como por ejemplo para el sistema de frenado

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

automático, el control eficiente en la carga de las baterías sin sobrecargarlas, entre otras grandes ventajas que tienen estos sistemas automatizados de control.

Se puede explorar abiertamente en los sistemas de bobinado del aerogenerador los cuales pueden ser de diferente forma dependiendo de la aplicación, teniendo en cuenta que este fue uno de los puntos más complicados a la hora de realizar este diseño.

Otro punto con el cual se pueden tener otro tipo de profundizaciones que afecten un diseño de estos es probando diferentes tipos de perfiles NACA en la aspas del aerogenerador, ya que se pueden utilizar con diferentes ángulos e inclusive con diferentes tipos de materiales.

Trabajo futuro:

Como se recomendó anteriormente uno de los campos para seguir proyectando este tipo de diseños sería aplicando nuevos sistemas de control para la optimización y mejoramiento de funcionalidades eficientes en este tipo de sistemas. Pueden diseñarse equipos más grandes, de potencias más altas y con funciones y objetivos más macro.

Existe una gran relación en base a los diseños de generación de energía alterna y uno de los cuales va muy ligado a esta diseño serían las fotoceldas utilizando la energía solar la cual puede ser dirigida a proyectos como este que utilizan generación de baja potencia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

REFERENCIAS

- Arcas, E. (2006). Energías renovables: ventajas y desventajas de la energía eólica. *Revista Futuros. volumen IV (14)*, página 2.
- Asociación de empresas de energía renovables. (2009). *fotovoltaica/09que_es.php*. Recuperado de www.appa.es
- Carcangiu, S. & Montisci, A. (Septiembre, 2012). A building-integrated eolic system for the exploitation of wind energy in urban areas. *Energy Conference and Exhibition (ENERGYCON)*, IEEE International, Florencia, Italia. 172,177. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org>
- D. Bianchi, F., & De Battista, H., & Mantz, R. (2006). *Wind Turbine Control Systems (Principles, Modelling and Gain Scheduling Design)*. La Plata, Argentina: Springer. Recuperado de www.springer.com/us/book/9781846284922
- Doderó, J. & García, M. (2012). *Generador eólico de baja potencia*. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Domínguez, B. (2007). Generadores eólicos de baja potencia, *Anales Academia Nacional de Ingeniería, tomo 3*, 411-430. Recuperado de <http://www.acadning.org.ar/anales/2007/19-dominguez.pdf>
- DreeseCode Software. DesignFOIL_R6_DEMO. Programa computacional.
- Gaona, F. (2010). *Diseño y construcción de un generador eléctrico para un aerogenerador de baja potencia*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México.
- Hau, E. (2005). *Wind turbines fundamentals, technologies, application, economics*. Second edition. Alemania: Springer. Recuperado de www.springer.com/us/book/9783642271502
- Hernández, A. (2013). *Análisis térmico y selección de un aerogenerador para suministro de energía eléctrica en la paz, baja california sur*. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Azcapotzalco, Méjico.
- Magnet Design Calculator Software. Version S5.06 - Programa computacional.
- MDSolids Software. MDSolids Educational Software for Mechanics of Materials. Version 4.1.0. Programa computacional.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson Educación.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos*. México: Pearson Educación.
- Piggott, H. (2009) *Manual de auto construcción de generadores eólicos*.
- Santos, A. & Pinilla, A. (2005). Adaptación de un generador eléctrico de imanes permanentes y flujo radial. Recuperado de http://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-07-04_01-16-10106144.pdf
- Wallace, R. & Rodríguez, A. (2000). Diseño de un generador de flujo axial con imanes permanentes para aplicaciones eólicas. *Revista facultad de ingeniería Universidad de Tarapacá, (7)*, 3-12.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

ANEXO 1 – FICHA TECNICA TUBERIAS MARCA TERNIUM

Ternium Tubería

Ternium Tubería Conducción SCH40

Normas

Fabricación:
NTC3470
(ASTM A53/A53M-07)
Tubería de Conducción
Tipo E grado A.

Norma propia:
TER1 SCH/2012

Descripción

Tubería de conducción formada en frío a partir de flejes de lámina de acero rolada en caliente y soldada por inducción de alta frecuencia, además la calidad se verifica por medio de pruebas hidrostáticas controladas, garantizando también la aplicabilidad del producto.

Aplicaciones

Conducción de fluidos poco corrosivos como aire, gas, aceite, agua y vapor.

Longitud

Longitud estándar de 6 m.

Ventajas

Mejor comportamiento al aplastamiento que cualquier otra tubería.
Mejor comportamiento a la compresión, tracción, torsión y temperatura que las tuberías de plástico y cobre.

Tubería de estructura SCH NTC 3470

Referencia	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Peso (kg/m)	Peso unidad (Kg)	Unidades por paquete
TF 1/2" x 2,77 mm	21,30	2,77	1,27	7,62	127
TF 3/4" x 2,87 mm	26,70	2,87	1,69	10,14	91
TF 1" x 3,38 mm	33,40	3,38	2,50	15,00	61
TF 1 1/4" x 3,56 mm	42,20	3,56	3,59	20,34	37
TF 1 1/2" x 3,68 mm	48,30	3,68	4,05	24,30	37

Nota: En caso que el pedido sea para una longitud especial diferente a la estándar, el pedido mínimo para esta longitud será de 5 unidades.

Medidas no incluidas en esta clasificación requieren aprobación por parte del área de planificación e Ingeniería de producto.

Norma de Fabricación: Norma propia: TER1 SCH/2012

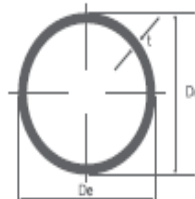
Referencia	Diámetro exterior (mm)	Espesor t (mm)	Peso (kg/m)	Peso unidad (Kg)	Unidades por paquete
TF 2" x 3,91 mm	60,3	3,91	5,44	32,64	37

Nota: La tubería de 2" se fabrica bajo Norma Propia y se prueba a 2000 PSI, presión inferior a la exigida por norma NTC3470.

En caso que el pedido sea para una longitud especial diferente a la estándar, el pedido mínimo para esta longitud será de 5 unidades.

Medidas no incluidas en esta clasificación requieren aprobación por parte del área de planificación e Ingeniería de producto.

Geometría Tubería
Conducción SCH40



TF () x () Designación
t: Espesor (mm)
Dn: Diámetro nominal (in)
Tubo para fluidos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

ANEXO 2 – FICHA TECNICA IMANES NEODIMIO



Ficha técnica del artículo Q-40-10-05-N

Datos técnicos y seguridad de uso

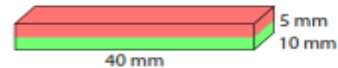
Webcraft GmbH
Industriepark 206
78244 Gottmadingen, Alemania

Teléfono: +49 7731 939 839 1
Telefax: +49 7731 939 839 9

www.supermagnete.es
support@supermagnete.es

1. Datos técnicos

Artículo	Q-40-10-05-N	
Forma	Bloque	
Página 1	40 mm	
Página 2	10 mm	
Página 3	5 mm	
Tolerancia de la longitud	+/- 0,1 mm	
Sentido de magnetización	paralelo al lado 3	
Superficies polares	40 x 10 mm	
Material	NdFeB (Neodimio-hierro-boro)	
Tipo de recubrimiento	Niquel (Ni-Cu-Ni)	
Fza. sujec.	aprox. 8 kg	aprox. 78,5 N
Peso	15,2 g	
Tipo de fabricación	sinterizado	
Magnetización (Calidad)	N42	
Temperatura de servicio máx.	80°C (quizá más baja) *	
Temperatura de Curie	310 °C	
Remanencia Br	12900-13200 G	1,29-1,32 T
Coercitividad bHc	10,8-12,0 kOe	860-955 kA/m
Coercitividad iHc	≥12 kOe	≥955 kA/m
Producto energético (BxH)max	40-42 MGOe	318-334 kJ/m³

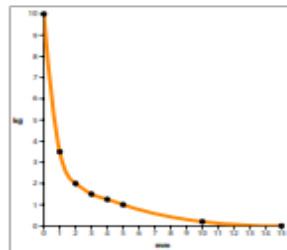


* Debido a las dimensiones, es posible que este imán presente una resistencia a la temperatura reducida. Por favor, consulte nuestras FAQ: <http://www.supermagnete.es/faq/temperature#pu424>

Sin sustancias nocivas conforme a la directiva RoHS 2011/65/UE.
No sujeto a la obligatoriedad de registro conforme a REACH.

2. Diagrama de fuerza de sujeción

Fuerza de sujeción en función del hueco entre el imán y la placa de acero.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - TIPOS DE ENERGÍA
- FIGURA 2 - DESARROLLO DE LOS GENERADORES EOLICOS A TRAVES DEL TIEMPO
- FIGURA 3 - FUNCIONAMIENTO DEL ROTOR SAVONIUS
- FIGURA 4 - GENERADORES DE EJE VERTICAL
- FIGURA 5 - ESQUEMA BASICO AEROGENERADOR CON CAJA MULTIPLICADORA
- FIGURA 6 - ESQUEMA AEROGENERADOR SIN CAJA MULTIPLICADORA
- FIGURA 7 - AEROGENERADORES DE EJE HORIZONTAL DIRECCIONADOS CON VELETAS
- FIGURA 8 - TURBINA DE VIENTO CON TECNOLOGIA MAGLEV
- FIGURA 9 - PLANTA ALMACENAMIENTO DE AIRE
- FIGURA 10 - COMPONENTES DE UN AEROGENERADOR
- FIGURA 11 - IMAGEN GENERADOR Y ROTOR DE IMANES PERMANENTES
- FIGURA 12 - VALOR DE FLUJO MAGNETICO HALLADO MEDIANTE EL SOFTWARE MAGNET DESIGN CALCULATOR
- FIGURA 13 - IMAGEN RECTIFICADOR
- FIGURA 14 - IMAGEN CONVERTIDOR CC/CA
- FIGURA 15 - IMAGEN BATERIA ESTACIONARIA
- FIGURA 16 - PERFIL DE ASPA
- FIGURA 17 - PERFIL NACA 4412 VISTO DESDE EL SOFTWARE DESIGNFOIL
- FIGURA 18 - VALORES ATMOSFERICOS DEL PERFIL NACA 4412 OBTENIDOS EN EL SOFTWARE DESIGNFOIL
- FIGURA 19 - PERDIDA HIPOTÉTICA DE VELOCIDAD EN EL PERFIL NACA 4412
- FIGURA 20 - FACTOR DE CONCENTRACION DE ESFUERZO
- FIGURA 21 - FUERZAS APLICADAS EN EL EJE
- FIGURA 22 - REACCIONES EN LOS RODAMIENTOS
- FIGURA 23 - PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES
- FIGURA 24 - FACTOR DE MATERIAL
- FIGURA 25 - TABLA FACTOR DE CONFIABILIDAD
- FIGURA 26 - FACTOR DE TAMAÑO
- FIGURA 27 - RESISTENCIA A LA FATIGA
- FIGURA 28 - FUERZAS ACTUANTES SOBRE LA TORRE
- FIGURA 29 - COEFICIENTES DE ARRASTRE PARA CILINDROS
- FIGURA 30 - CARGAS EN LOS RODAMIENTOS
- FIGURA 31 - FACTORES DE DURACION Y VELOCIDAD PARA RODAMIENTOS DE RODILLOS
- FIGURA 32 - SISTEMA DE PROTECCION A TIERRA

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

LISTA DE TABLAS

- TABLA 1 - COMPARATIVO ENTRE GENERADOR MAGLEV Y EL GENERADOR TRIPALA
- TABLA 2 - CARACTERÍSTICAS DEL IMÁN DE NEODIMIO
- TABLA 3 - POTENCIA ELECTRICA MAXIMA A DIFERENTES VELOCIDADES
- TABLA 4 – PARAMETROS INICIALES DE MEDICION
- TABLA 5 - RESULTADOS TEORICOS EN BASE A LA VELOCIDAD DE GIRO
- TABLA 6 - PLAN DE MANTENIMIENTO

FIRMA ESTUDIANTES	 <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/>
	 <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/>
FIRMA ASESOR	 <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/>
FECHA ENTREGA: 19-08-2016	

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____
RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	01
		Fecha	2013-09-16

ACTA NO. _____ FECHA ENTREGA: _____
--

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____
ACTA NO. _____ FECHA ENTREGA: _____