



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TÍTULO:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA
ELECTROMECAÁNICO AUTÓNOMO PARA VENCER LA
INERCIA DE ARRANQUE DE LOS AEROGENERADORES
DE EJE VERTICAL DEL AEIRNNR**

**TESIS DE GRADO PREVIO A OPTAR
POR EL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTROMECAÁNICO**

AUTORES:

Juan Manuel Moreno Ponce.

Danny Alexander Pardo Zhingri.

DIRECTOR:

Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Mg.Sc.

Loja - Ecuador

2013

CERTIFICACIÓN

Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Mg.Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ELECTROMÉCANICO AUTÓNOMO PARA VENCER LA INERCÍA DE ARRANQUE DE LOS AEROGENERADORES DE EJE VERTICAL DEL AEIRNNR.”**, previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, realizado por los señores egresados: **JUAN MANUEL MORENO PONCE Y DANNY ALEXANDER PARDO ZHINGRI**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, octubre del 2013



Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Mg.Sc.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA.

Nosotros, Juan Manuel Moreno Ponce, Danny Alexander Pardo Zhingri, declaramos ser autores del presente trabajo de tesis y eximimos expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente aceptamos y autorizamos a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de nuestra tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: Juan Manuel Moreno Ponce.

Firma: .....

Cédula: 110457221-7

Fecha: Loja, 25 de octubre del 2013

Autor: Danny Alexander Pardo Zhingri

Firma: .....

Cédula: 190058738-5

Fecha: Loja, 25 de octubre del 2013

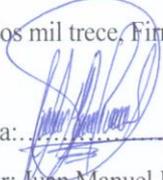
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LOS AUTORES, PARA LA CONSULA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Nosotros, Juan Manuel Moreno Ponce, Danny Alexander Pardo Zhingri, declaramos ser autores de la tesis titulada: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ELECTROMECAÁNICO AUTÓNOMO PARA VENCER LA INERCIA DE ARRANQUE DE LOS AEROGENERADORES DE EJE VERTICAL DEL AEIRNNR”, como requisito para optar al grado de: Ingeniero Electromecánico, autorizamos al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información de país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 23 días del mes de Octubre del dos mil trece, Firman los autores.

Firma: 

Autor: Juan Manuel Moreno Ponce

Cédula: 110457221-7

Dirección: Belén Calle sin nombre.

Correo Electrónico: juan_morenoponce@hotmail.com

Celular: 0986-161-321

Firma: 

Autor: Danny Alexander Pardo Zhingri

Cédula: 190058738-5

Dirección: Barrio San Francisco.

Correo Electrónico: dannypardo3@hotmail.com

Celular: 0993-606-732

Datos Complementarios:

Director de Tesis: Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Mg.Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Milton Amable León Tapia, Mg.Sc.

Ing. Gonzalo Ramiro Riofrío Cruz.

Ing. Luis Armando Salgado Valarezo.

PENSAMIENTO.

“Los ideales que iluminan mi camino y una y otra vez me han dado coraje para enfrentar la vida con alegría han sido: la amabilidad, la belleza y la verdad”.

Albert Einstein.

DEDICATORIA.

Este trabajo realizado se lo dedico a Dios por haberme permitido llegar a donde estoy, por haberme guiado por el camino del bien por haberme dado salud y fuerzas para seguir adelante cuando más lo he necesitado, también se lo dedico a mi madre por haberme dado la vida por haber estado allí en los momentos que más la necesitaba, por todas las veces que se desveló por mí, y por todas las veces que me dio fuerzas valor y ánimo para no dejarme vencer por los obstáculos que se me presentaron en la vida.

Juan Manuel Moreno Ponce

DEDICATORIA

De todo corazón le dedico este trabajo a mis padres: Ruth Enith Zhingri M. y José Roberto Pardo R., quienes fueron el pilar fundamental para lograr alcanzar este objetivo que me trace en la vida, sin ellos no hubiera sido posible alcanzar una de mis metas. A mis queridos hermanos Marjorie Pardo Z, Jean Carlos Pardo Micaela Pardo Z quienes siempre me supieron apoyar en los momentos más difíciles. Gracias mi Dios, nunca me abandonaste.

Danny Alexander Pardo Z.

AGRADECIMIENTO.

Le agradezco a mi mayor inspiración, mi madre Carmelina Isabel Ponce; por haberme apoyado económica y moralmente durante todo mi proceso de formación tanto moral como académica, le agradezco porque sin ella no sería la persona de bien que soy ahora, le agradezco porque lo que ahora soy...! Nunca lo hubiera logrado sin su incondicional y desinteresado apoyo.

También quiero agradecerle a mi hermana Silvia Moreno ya que siempre estuvo allí cuando yo más la necesitaba, brindándome su apoyo emocional como económico.

Al Ingeniero Jorge Maldonado porque me supo guiar en este proyecto de tesis, y por todos sus conocimientos impartidos durante el presente proceso.

Por ultimo les agradezco a todos mis hermanos por haberme brindado su confianza y por el apoyo moral que siempre me dieron durante mi proceso de formación.

Juan Manuel Moreno Ponce.

AGRADECIMIENTO.

El más sincero agradecimiento sentimiento y gratitud a todas aquellas personas que de una u otra forma me han apoyado y ayudado durante mi formación académica.

A esta gran institución educativa, como es la Universidad Nacional de Loja, porque dentro de sus salones recibimos la formación académica, y al grupo de docentes de la carrera, Ingeniería Electromecánica, los cuales desde el inicio me enseñaron nuevos caminos, aportándonos grandes conocimientos en nuestra formación profesional. Al Ing. Jorge Maldonado. , Director de tesis, por el interés y paciencia que mostró en la realización de este proyecto.

A mis familiares, compañeros y amigos, que son una parte importante de mi vida, que han estado ahí en los momentos difíciles y con su apoyo y ánimo me ayudaron a la culminación de este Proyecto de Tesis.

Danny Alexander Pardo Zhingri

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	III
PENSAMIENTO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VIII
TABLA DE CONTENIDOS.....	X
a. TÍTULO.....	2
b. RESUMEN.....	2
c. INTRODUCCIÓN.....	4
d. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
d.1. CAPÍTULO I. Momentos de Inercia, torque y potencia..	5
d.1.1.Densidad y Volumen de un cuerpo	7
d.1.2. Trabajo y Potencia.....	9
d.1.3. Torque de una fuerza.....	10
d.2. CAPÍTULO II. Sistemas de transmisión.....	12
d.2.1. Sistemas de transmisión	12
d.3.1 El Sistema de Arranque.....	22
d.4.1.El viento.	29
d.4.2. Centrales eólicas.....	31
d.4.3. Aerogeneradores de eje vertical.	32
d.4.4. Energía Solar	35
d.5.1 PLC Easy mando control y comunicación.	44
d.5.2. Relés de potencia.....	45
d.5.3. Relé de Potencia serie 006.....	46
d.5.4. Selectores de Posición.	48
d.5.6. Breakers de protección.	49
d.5.7. Conductores.....	49
e.1 Materiales.	51
e.2 Métodos	52
f. RESULTADOS	55

f.1. Generalidades de la propuesta planteada.	55
f.2. Descripción general del proyecto de tesis.....	55
f.3.Cálculo de la potencia requerida para vencer la inercia de cada uno de los aerogeneradores .	57
f.3.1. Prototipo 1: Aerogenerador de eje vertical con rotor tripala.....	58
f.3.2. Prototipo 2: Cálculo de Inercia de cada uno de los elementos del Aerogenerador de eje vertical con rotor espiral tipo veleta.	65
f.4. Diseño y selección de los componentes del sistema de arranque para los aerogeneradores..	70
f.4.1. Cálculo y dimensionamiento del motor de arranque.....	70
f.5 Selección de los elementos para el circuito de control del sistema de arranque.	81
f.5.1 Descripción de cada uno de los elementos que conforman al sistema de arranque.	82
f. 5.2 Requerimientos fundamentales para armar la caja de control del sistema de arranque..	83
f.5.3 Circuito de fuerza del sistema de arranque.	84
f.5.4 Circuito de mando del sistema de arranque.	85
f.5.5 Programación del sistema de arranque a través del programa XLogicsoft.	86
f.6.1. Dimensionamiento del sistema.	88
f.6.2 Cálculo del consumo en el circuito de mando.	93
f.6.3 Cálculo de la energía del panel.	95
f.6.4 Cálculo de la sección de los conductores.....	96
g.- DISCUSIÓN.	104
h.- CONCLUSIONES	105
i.- RECOMENDACIONES.....	106
j.- BIBLIOGRAFIA.	107
k.- ANEXOS.	109

a.- TÍTULO:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ELECTROMÉCANICO AUTONÓMO PARA VENCER LA INERCÍA DE ARRANQUE DE LOS AEROGENERADORES DE EJE VERTICAL DEL AEIRNNR.”

b. RESUMEN.

El presente trabajo de tesis titulado “Diseño y construcción de un sistema electromecánico autónomo para vencer la inercia de arranque de los aerogeneradores de eje vertical del AEIRNNR”, tiene la finalidad de aportar eficiente y directamente al arranque de los aerogeneradores para el posterior aprovechamiento del recurso eólico y como es un sistema autónomo, para su alimentación también aprovechará el recurso solar a través de paneles fotovoltaicos.

Consiste en un sistema de arranque novedoso y de tecnología actual compuesto por dos motores de arranque, debido a que su transmisión mediante rueda dentada y piñón resultó aceptable y precisa para los requerimientos del sistema, siendo el más importante el tiempo de arranque para vencer la inercia de partida de los aerogeneradores.

De manera concisa se puede mencionar que el sistema planteado consiste en un anemómetro de copas el cual envía la señal de funcionamiento para poner en marcha los motores de arranque bajo ciertas condiciones del recurso eólico. Un mini PLC se encarga de recibir la señal del anemómetro y enviar señales a los accionamientos para comandar el circuito de fuerza y de mando cuando este así lo requiera. Por último, el sistema asegura su autonomía mediante la implementación de un sistema de obtención y acumulación de energía eléctrica mediante energía solar. Todos estos elementos forman el sistema autosuficiente de obtención, acumulación, transformación y suministro seguro de corriente continua, capaz de solventar el requerimiento energético del sistema de arranque para los aerogeneradores.

El dimensionamiento fue fundamentado en estudios meteorológicos anteriormente realizados en el sitio de emplazamiento de los aerogeneradores los mismos permitieron concluir sobre la escasa factibilidad por parte de los aerogeneradores para aprovechamiento eólico debido a su alto par de inercia, pero a su vez nos dieron la idea de implementación de nuestro sistema de arranque.

b. Abstract

The present qualified work of thesis " Design and construction of an electromechanical autonomous system to conquer the inertia of take-off of the wind generators of vertical axis of the AEIRNNR ", has the purpose the contribute efficiently and directly to the take-off of the wind generators for the later utilization of the wind resource and as it is an autonomous system, for his supply also he will take advantage of the solar resource across photovoltaic panels.

Consist of a system of new start and of a current technology composed by two starters, due to the fact that your transmission by means of toothed wheel and pinion resulted acceptable and precise for the requirements of the system, being more important the time of take-off to conquer the inertia in the mobile components of wind turbines.

In a concise way it is possible to mention that the raised system consists of an anemometer which sends the sign of functioning to start the engines of take-off under certain conditions of the wind resource. A mini PLC entrusts himself of receptar the sign of the anemometer and sending signs to the operations to command the circuit of force and of control when this one like that needs it. Finally, the system assures his autonomy by means of the implementation of a system of obtaining and accumulation of electric power by means of solar power. All these elements form the self-sufficient system of obtaining, accumulation, transformation and sure supply of direct current, capable of settling the energetic requirement of the system of take-off for the wind generators.

The dimensionamiento was based on meteorological studies previously realized in the site of emplacement of the wind generators the same ones they allowed to conclude on the escaza feasibility on the part of the wind generators for wind utilization due to his high couple of inertia, but in turn they gave to us the idea of implementation of our system of take-off.

c. INTRODUCCIÓN.

Las energías renovables, son fuentes inagotables y sanas, libres de contaminación las cuales se pueden aprovechar para la generación de energía eléctrica, tal es el caso de los aerogeneradores de eje vertical existentes en el área de la Energía, los cuales aprovechan el recurso eólico para la producción de electricidad, también se puede aprovechar el recurso solar a través de los bien conocidos paneles solares.

El viento y la radiación solar son energías conocidas por el hombre desde hace mucho tiempo atrás, aunque curiosamente han optado por usar energías menos sanas. El aprovechamiento de este tipo de energías hoy puede sustituir en gran parte al combustible fósil, evitar el calentamiento terrestre y con ello disminuir la emisión de millones de toneladas de dióxido de carbono.

En nuestra ciudad y con el fin de aportar al desarrollo de las Energías Alternativas, se lleva a cabo desde hace varios años el proyecto Eólico Villonaco, el que en la actualidad a llegado a su fase terminal, logrando de esta forma aportar al desarrollo energético de la ciudad dentro de lo que son las energías limpias.

Los aerogeneradores de eje vertical emplazados en el parque eólico del AEIRNNR tienen como principal fundamento aportar al abastecimiento de energía eléctrica y servir a su vez como una fuente didáctica que relaciona la práctica con la teoría.

Dentro del ámbito funcional, la principal desventaja de los aerogeneradores de eje vertical mencionados, es que poseen un alto par de inercia, lo que produce que los mismos no aprovechen de mejor manera el recurso, siendo necesarios contar con un mecanismo que induzca un impulso de arranque.

Aquí surge la necesidad de buscar la forma de ayudar a impulsar a los aerogeneradores para que venzan la inercia de arranque que estos poseen, y de esta forma comiencen a aprovechar el recurso eólico existente en el sector para su posterior generación de energía.

d. REVISIÓN DE LITERATURA

d.1. CAPÍTULO I. Momentos de Inercia, torque y potencia.

El momento de inercia o inercia rotacional es una medida de la inercia rotacional de un cuerpo. Más concretamente el momento de inercia es una magnitud escalar que refleja la distribución de masas de un cuerpo o un sistema de partículas en rotación, respecto al eje de giro.

El momento de inercia sólo depende de la geometría del cuerpo y de la posición del eje de giro; pero no depende de las fuerzas que intervienen en el movimiento.

El momento de inercia desempeña un papel análogo al de la masa inercial en el caso del movimiento rectilíneo y uniforme. Es el valor escalar del momento angular longitudinal de un sólido rígido.

El momento de inercia de un cuerpo indica su resistencia al adquirir una aceleración angular.

Para una masa puntual y un eje arbitrario, el momento de inercia es:

$$I = m \times r^2$$

Ecuación 1.

Dónde:

I= momento de inercia.

m= masa

r= radio.

En la figura 1 y 2 podemos apreciar los momentos de inercia en dos cilindros huecos.

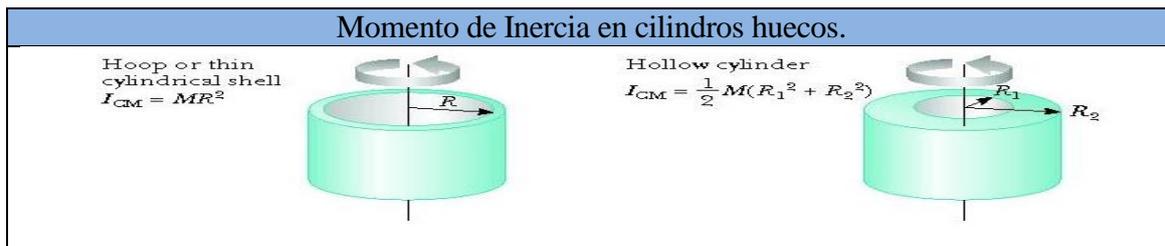


Figura 1. Inercia rotacional de cilindros huecos respecto a su eje de giro.

DISCO	
Respecto a un diámetro	Respecto a eje perpendicular en su centro
	
$I = \frac{1}{4}MR^2$	$I = \frac{1}{2}MR^2$

Figura 2. Inercia rotacional de cuerpos solidos respecto a su eje de giro.

$$I = \frac{1}{2} mr^2$$

Ecuación 2.

$$I = \frac{1}{3} m \times (a^2 + b^2)$$

Ecuacion 3.

Dónde:

a= base del cuerpo.

b= Longitud del cuerpo.

Donde m es la masa del punto, y r es la distancia al eje de rotación. Dado un sistema de partículas y un eje arbitrario, se define como la suma de los productos de las masas de las partículas por el cuadrado de la distancia de cada partícula a dicho eje. Matemáticamente se expresa como:

$$I = \Sigma mi. ri^2$$

Ecuación 4.

Dónde:

I= Inercia.

m= masa

r= radio

d.1.1.Densidad y Volumen de un cuerpo.

d.1.1.1.Densidad.

Es un concepto asociado a la física y el de volumen está asociado a la matemática (geometría).

Una de las tantas características de la física, para hacer descripciones de fenómenos, es hacer mediciones, y las mediciones que se hagan estarán en relación al fenómeno en estudio. Entre las diversas mediciones que se realizan en física están las que se hacen para obtener el volumen de un cuerpo.

d.1.1.2.Volumen.

Igual que en geometría, en física suele hablarse de dimensiones, y cuando se habla de dimensiones nos estamos refiriendo a ideas tales como: ancho, largo y alto.

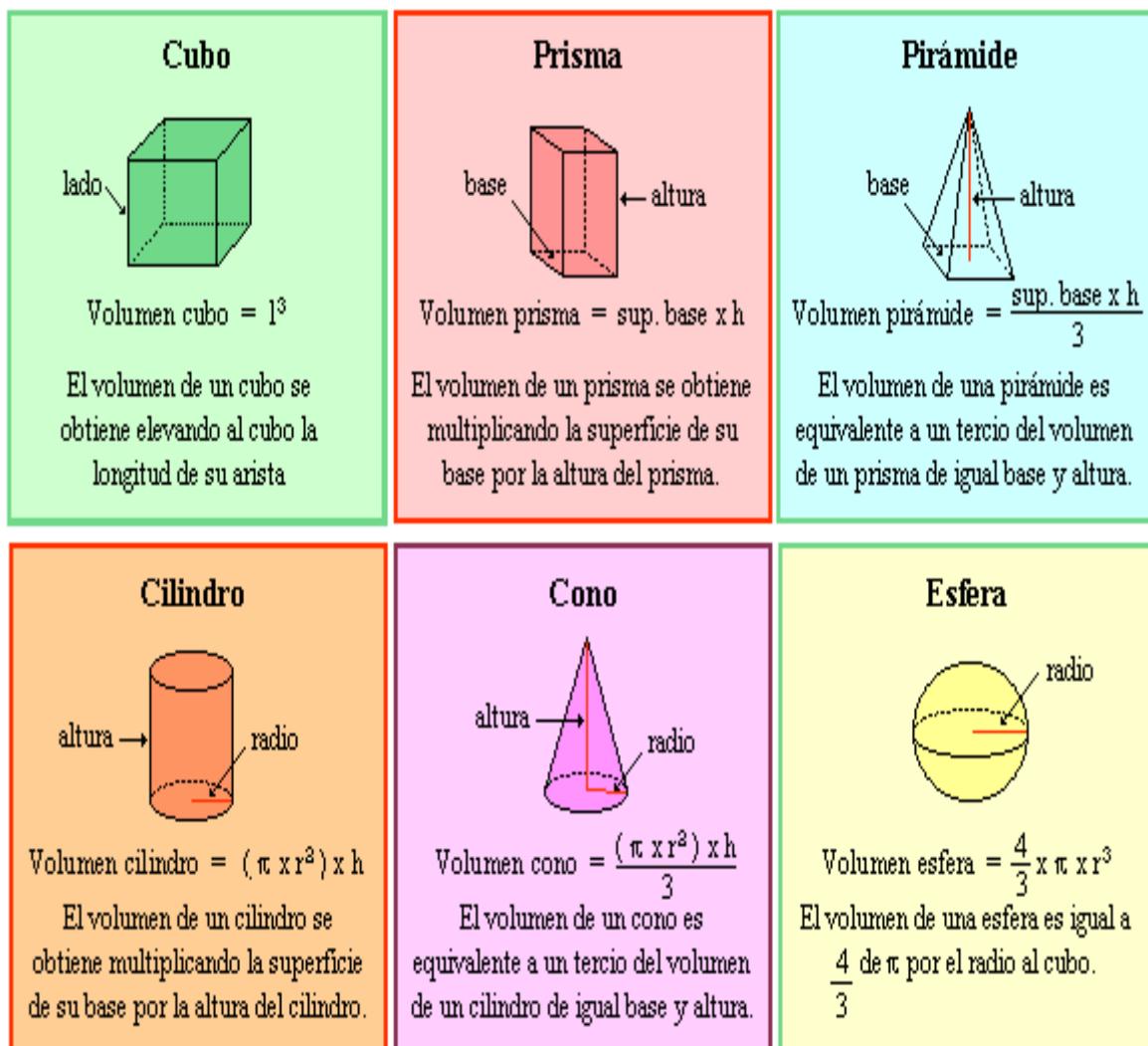


Figura 3. Volumen de cuerpos sólidos.

Una dimensión física está relacionada con una línea. Dos dimensiones se relacionan con una superficie. Tres dimensiones se relacionan con un cuerpo.

Los cuerpos, contienen puntos a lo alto, ancho y largo, por lo tanto ocupan un lugar en el espacio.

El lugar que ocupan los cuerpos en el espacio se denomina volumen tal como lo podemos observar en la figura 3. El volumen viene a ser el "tamaño" de un cuerpo.

Hay infinita variedad de cuerpos, por lo que hay infinita variedad de formas volumétricas. Tal vez las que más nos llaman la atención en su estudio son los paralelepípedos rectangulares (cajas, cubos, cajones, etc.), los cilindros (tubos, alambres, etc.) y las esferas (balones, algunas naranjas, etc.).

Para determinar el volumen de los cuerpos geométricos se debe tener en cuenta lo siguiente:

1.- El volumen de un prisma es igual al producto del área de la base por la altura, esto se expresa como:

$$V = A \times h \qquad \text{Ecuación 5.}$$

Dónde:

V= Volumen.

A= área base.

h= altura.

2.- El volumen de un cilindro es igual al producto de π por el cuadrado del radio por la altura, esto se expresa como:

$$V = \pi r^2 h \qquad \text{Ecuación 6.}$$

Dónde:

V= volumen

r= radio.

h= altura.

d.1.1.3.Densidad.

Se ha observado que un centímetro cúbico (1 cm^3) de plomo tiene mayor masa que un centímetro cúbico de aluminio o de un centímetro cúbico de agua. En realidad, se necesitan aproximadamente 4 cm^3 de aluminio y más de 11 cm^3 de agua para equilibrar en la balanza a 1 cm^3 de plomo. Esto demuestra que existen sustancias que son más densas que otras; es decir, tomando volúmenes iguales de diferentes sustancias, se encuentra que algunas tienen más masa que otras.

La densidad de una sustancia o de un material muchas veces caracteriza al material y en el caso de sustancias puras, a menudo sirve para identificar de qué sustancia se trata, pero debe tenerse presente que en algunos casos muy puntuales hay sustancias que tienen la misma densidad o muy parecidas.

Luego, para obtener la densidad de una sustancia, debemos saber su masa y su volumen. Según esto, se define la densidad como: “el cociente entre la masa de una muestra de sustancia y el volumen de dicha muestra”. En forma matemática, esta definición se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$\delta = \frac{m}{v}$$

Ecuación 7.

Dónde:

δ = densidad

V = volumen

m = masa

d.1.2. Trabajo y potencia

El trabajo, tal y como ha sido definido, no hace referencia al tiempo que dura el correspondiente proceso de transferencia de energía de un cuerpo a otro. Para dar idea de la rapidez con la que se realiza el trabajo, se introduce la magnitud potencia mecánica; se representa por P y se define como la cantidad de trabajo que puede efectuarse en la unidad de tiempo.

Su expresión matemática viene dada por la ecuación:

$$P = \frac{W}{t}$$

Ecuación 8.

Dónde:

P= Potencia.

W= trabajo

t= tiempo.

La potencia también puede ser expresada en:

$$P = \tau \times \omega$$

Ecuación 9.

Dónde:

P= Potencia.

τ = Torque

ω = velocidad angular

d.1.3. Torque de una fuerza.

Cuando se aplica una fuerza en algún punto de un cuerpo rígido, el cuerpo tiende a realizar un movimiento de rotación en torno a algún eje. La propiedad de la fuerza para hacer girar al cuerpo se mide con una magnitud física que llamamos torque o momento de la fuerza. Se prefiere usar el nombre torque y no momento, porque este último se emplea para referirnos al momento lineal,

Su expresión matemática viene dada por la ecuación:

$$\tau = F \times d$$

Ecuación 10.

Dónde:

τ = Torque.

F= fuerza.

d= distancia.

O lo que es lo mismo en un cuerpo que tiene un movimiento circular, es decir que gira alrededor de su propio eje tendríamos la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{I \times \omega}{t}$$

Ecuación 11

Dónde:

τ = Torque

I = Inercia.

ω = Velocidad angular.

t = tiempo

d.2. CAPÍTULO II. Sistemas de transmisión.

d.2.1. Sistemas de transmisión

d.2.1.1. Tipos de transmisiones mecánicas.

Este tipo de transmisión puede clasificarse en:

Transmisiones flexibles tales como:

- Correas
- Cadenas
- Cables
- Ejes flexibles.

Tabla 1. Eficiencia en tipos de transmisión

η de transmisiones.		
Tipo de transmisión	En baño de aceite	Abierta
Dentada con ruedas cilíndricas	0,95 a 0,98	0,92 a 0,94
Dentada con ruedas cónicas	0,94 a 0,97	0,91 a 0,93
Por cadena	0,95 a 0,97	0,90 a 0,93
Por correa		0,95 a 0,96
Por fricción	0,90 a 0,96	0,75 a 0,88

Fuente. Introducción a los accionamientos de máquinas.

d.2.1.2. Sistema de Transmisión por correas.

Los sistemas de transmisión de poleas y correas se emplean para transmitir la potencia mecánica proporcionada por el eje del motor entre dos ejes separados entre sí por una cierta distancia. La transmisión del movimiento por correas se debe al rozamiento éstas sobre las poleas, de manera que ello sólo será posible cuando el movimiento rotórico y de torsión que se ha de transmitir entre ejes sea inferior a la fuerza de rozamiento. El valor del rozamiento depende, sobre todo, de la tensión de la correa y de la resistencia de ésta a la tracción; es decir, del tipo de material con el que está construida (cuero,

fibras, hilos metálicos recubiertos de goma, etc.) y de sus dimensiones. Las poleas son ruedas con una o varias hendiduras en la llanta, sobre las cuales se apoyan las correas. Las correas son cintas cerradas de cuero y otros materiales que se emplean para transmitir movimiento de rotación entre dos ejes generalmente paralelos. Pueden ser de forma plana, redonda, trapezoidal o dentada.

Este sistema se emplea cuando no se quiere transmitir grandes potencias de un eje a otro. Su principal inconveniente se debe a que el resbalamiento de la correa sobre la polea produce pérdidas considerables de potencia; sobre todo en el arranque. Para evitar esto parcialmente se puede utilizar una correa dentada, que aumenta la sujeción.

$$i = \frac{\phi_{\text{conductor}}}{\phi_{\text{conducido}}} \quad \text{Ecuacion 12.}$$

Para evitar que las correas se salgan de las poleas, será necesario que las primeras se mantengan lo suficientemente tensas como para que sean capaces de transmitir la máxima potencia entre ejes sin llegar a salirse ni romperse como se puede apreciar en la figura 4. Para evitar este problema se emplean a veces rodillos tensores, los cuales ejercen sobre las correas la presión necesaria para mantenerlas en tensión.

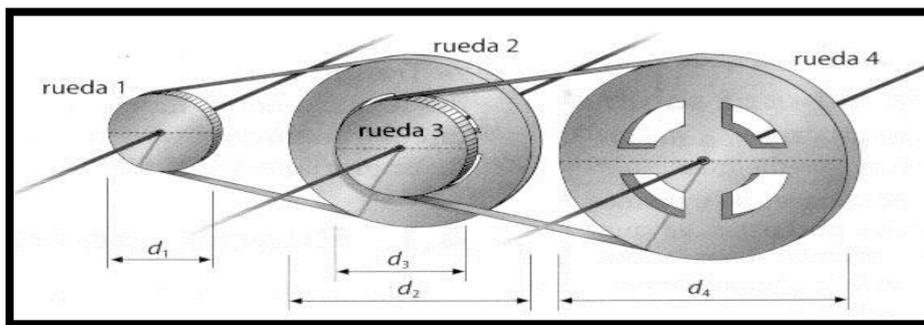


Figura 4. Sistema de transmisión por bandas.

Ventajas y desventajas de las transmisiones por correa.

Ventajas.

- Transmiten potencia a distancias grandes.
- Amortiguan impactos
- Simplifican la transmisión
- Trabajo silencioso

- No requieren lubricación ni fundas especiales.
- Pueden transmitir potencia a varios árboles.

Desventajas.

- Relación de transmisión no constante, debido a deslizamiento.
- Grandes fuerzas en apoyo y árboles.
- Alargamiento de las correas.
- A veces se requiere dispositivos tensores.
- Duración de la correa afectada por temperatura y humedad.

Aceite, polvo y humedad reducen el coeficiente de fricción.

d.2.1.3. Transmisión por cadena.

Sistema de transmisión entre árboles paralelos debido al acoplamiento de forma y fuerza entre los dientes de un piñón y los eslabones de una cadena. Se utiliza cuando se requiere transmitir potencias elevadas con un alto rendimiento y velocidades lentas, con relaciones de transmisión de 6 y velocidades tangenciales menores que 20 m/s. Su uso se puede ampliar empleando amortiguadores de goma para evitar las vibraciones y para cuando existen grandes distancias entre piñones, usando apoyos o patines intermedios.

La relación de transmisión se puede considerar igual que la de los sistemas de transmisión por correa.

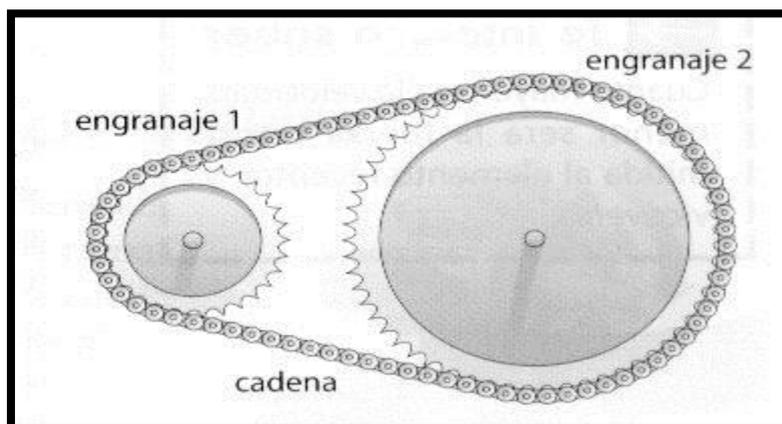


Figura 5. Sistema de transmisión por cadenas.

Transmisiones rígidas.

- Ruedas de fricción

- Engranajes
- Sistemas articulados (compuestos por cigüeñales, bielas, manivelas, rodamientos, juntas universales, embragues, frenos, volantes, etc).

Ventajas y desventajas de las transmisiones por cadenas.

Ventajas.

- Transmiten potencia a distancias grandes.
- Relación de transmisión prácticamente constante.
- Sometidas a menores cargas que la transmisión por correas.
- Mejor resistencia a las condiciones ambientales que las transmisiones por correas.
- Elementos comercializados.
- Simplifican la transmisión.
- Pueden transmitir potencia a varios árboles.

Desventajas.

- Requieren lubricantes y fundas.
- Cierta irregularidad en su funcionamiento.
- Requiere montaje y mantenimiento minuciosos.

d.2.1.4. Transmisión por engranes y esfuerzos producidos en sus dientes.

Se denomina engranaje al mecanismo utilizado para transmitir potencia mecánica entre las distintas partes de una máquina. Los engranajes están formados por dos ruedas dentadas, de las cuales a la mayor se le denomina corona y el menor piñón.

Un engranaje sirve para transmitir movimiento circular mediante contacto de ruedas dentadas. Una de las aplicaciones más importantes de los engranajes es la transmisión del movimiento desde el eje de una fuente de energía, como puede ser un motor de combustión interna o un motor eléctrico, hasta otro eje situado a cierta distancia y que ha de realizar un trabajo.

De manera que una de las ruedas está conectada por la fuente de energía y es conocido como engranaje motor y la otra está conectada al eje que debe recibir el movimiento del

eje motor y que se denomina engranaje conducido. Si el sistema está compuesto de más de un par de ruedas dentadas, se denomina tren de engranajes

Tienen las siguientes ventajas:

- Las ruedas no pueden resbalar una con respecto a la otra.
- Transmiten grandes esfuerzos
- La relación de transmisión se conserva siempre constante.

Al engranaje que transmite el movimiento se le denomina piñón, y al que lo recibe, rueda. Como se puede observar es un sistema de transmisión circular directo. Por medio de engranajes se pueden transmitir el movimiento de dos modos, según como se dispongan los ejes:

1.- Entre **ejes paralelos**, que pueden ser:

- Engranajes entre dientes rectos.
- Engranajes entre dientes helicoidales.
- Engranajes entre dientes en V

2. Entre **ejes perpendiculares**, que pueden ser

- Transmisión entre ejes que se cortan.
- Transmisión entre ejes que se cruzan

Transmisión entre ejes paralelos.

Se utiliza para la transmisión entre ejes (o arboles) con poca separación, siendo la forma de los piñones o ruedas dentadas como se observa en la figura 6, cilíndrica. Normalmente el tallado de los dientes es sobre la superficie exterior de la rueda, aunque también puede ser interior.

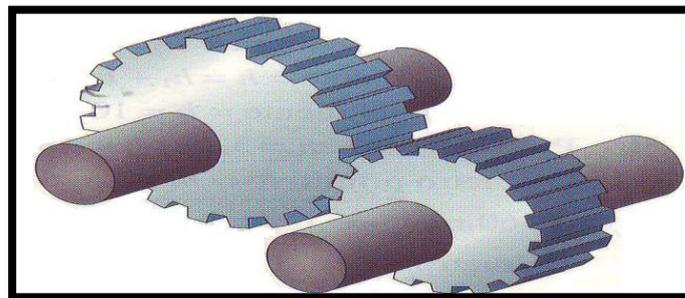


Figura 6. Transmisión entre ejes paralelos.

Son los más sencillos de fabricar y se utilizan en máquinas para transmitir pequeños esfuerzos. Se emplea en maquinaria que utilice ejes cuya velocidad no es muy elevada, ya que es un sistema ruidoso y causa vibración. Además de producir mucho ruido, tiene el inconveniente de transmitir el esfuerzo solo sobre el diente que esta engranado.

Para caracterizar una rueda dentada con dientes rectos, es necesario definir una serie de parámetros básicos que son:

- Relación de transmisión.

La relación de transmisión en un engranaje puede expresarse en función del número de dientes de las ruedas como:

$$i = \frac{W2}{W1} = \frac{Z1}{Z2} \qquad \text{Ecuación 13.}$$

Dónde:

i= relación de transmisión.

W1= Velocidad angular del piñón.

Z1= número de dientes del piñón.

W2= Velocidad angular de la rueda dentada.

Z2= número de dientes de la rueda dentada.

Los engranajes rectos se utilizan para transmitir movimientos de rotación entre ejes paralelos. Los dientes son paralelos al eje de rotación. En la Figura 7 se representan las características principales de un engranaje recto:

- p, paso circular (medido en la circunferencia de paso en mm entre 2 dientes).
- m, módulo m
- Z, número de dientes
- a, adendo
- t, dedendo.

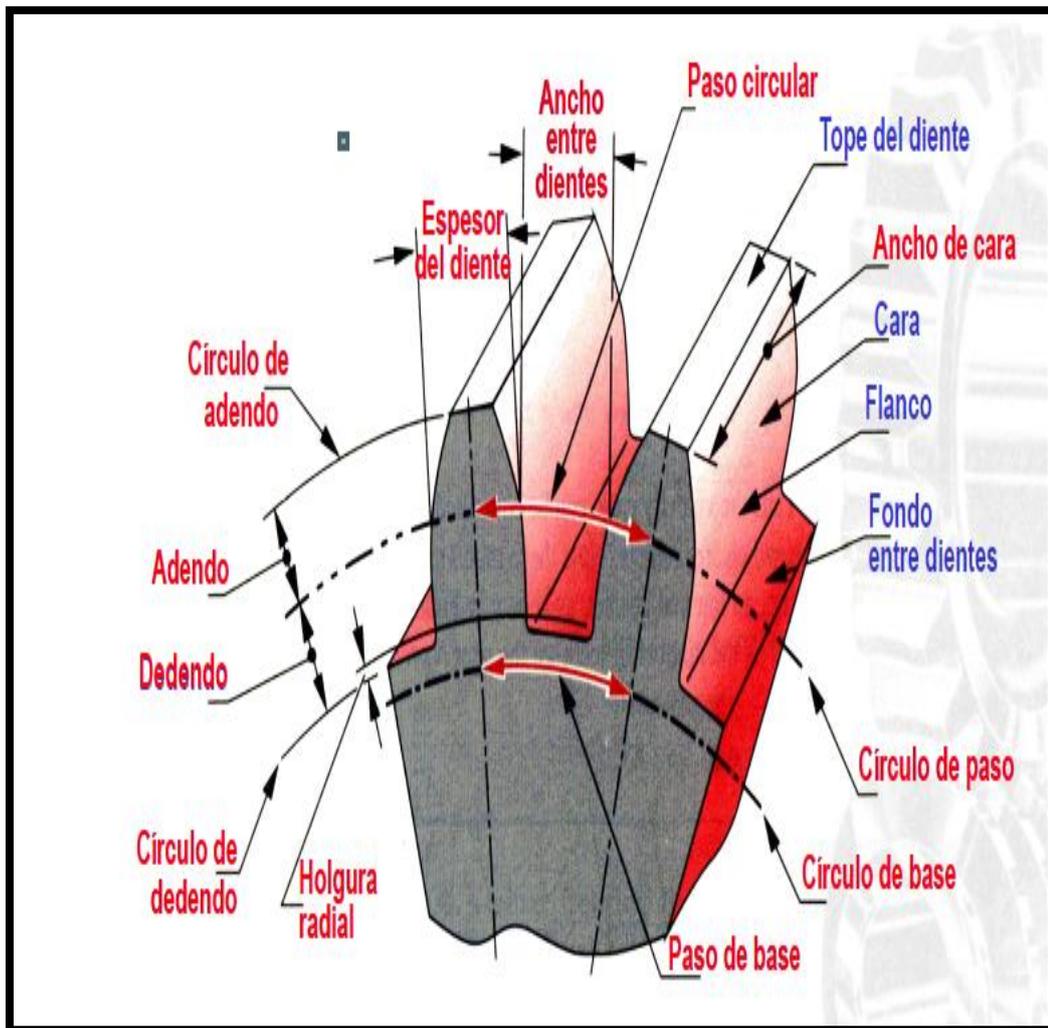


Figura 7. Nomenclatura de los dientes de un engranaje.

- El número de dientes está limitado aproximadamente entre un mínimo de 8 y un máximo de 110 para ruedas cilíndricas.

Por lo tanto, con un par de ruedas dentadas sólo pueden conseguirse relaciones de transmisión racionales, de manera que si se quiere obtener una relación no racional habrá que hacer una aproximación.

Además, se ha de tener en cuenta las limitaciones constructivas siguientes:

No es conveniente utilizar un piñón muy pequeño con una rueda muy grande. La relación de transmisión usualmente está comprendida entre $1/12$ Y 12 para los engranajes cilíndricos como se puede observar en la tabla 2.

Tabla 2. Relaciones de transmisión.

Posición relativa de los ejes.	Relación de transmisión	Tipos de engranajes.
Paralelos	1 a 10 (máximo 14)	Engranaje simple con cambio en el sentido de rotación -Engranaje exterior. Engranaje simple sin cambio en el sentido de rotación -Engranaje interior -Engranaje con rueda intermedia Ejes coaxiales. -Tren planetario.
	>12	-Engranajes simples en serie. -Trenes planetarios simples en serie -Tren planetario especial.
Concurrentes	1 a 6	-Engranaje simple
	6 a 40	-Engranaje cónico y engranaje paralelo en serie.
	>40	-Engranaje cónico o de vi-sinfín y engranajes paralelos en serie.

Fuente: Henriot, 1968.

- Diámetro exterior (de): es el correspondiente a la denominada circunferencia total.

$$D = \frac{Z2 \times D1}{z1}$$

Ecuación 14

Dónde:

D2= Diámetro exterior del engrane.

D1= Diámetro exterior del piñón.

Z2=número de dientes del engrane.

Z1=número de dientes del piñón.

Esfuerzos en el diente del engrane

Un diente de un engrane funciona como una viga en voladizo, cuando resiste la fuerza que ejerce sobre este el diente compañero. El punto de máximo esfuerzo flexionante de tensión está en la raíz del diente, donde la curva de envolvente se mezcla con el chaflán. La AGMA ha desarrollado un conjunto de números de esfuerzo flexionante admisible, llamados σ_f los cuales se comparan con los valores calculados de esfuerzos flexionantes del diente, para evaluar la aceptación de diseño.

Para comprender el método de cálculo de esfuerzos en los dientes de engranes, hay que considerar la forma en la que se transmite la potencia de un sistema de engranes. Para el par de engranes simple en reducción como se muestra en la figura la potencia se envía desde un motor y la recibe un eje de entrada que gira a la velocidad del motor.

El eje de entrada transmite la potencia desde el acoplamiento hasta el punto donde está montado el piñón. Mediante la cuña, se transmite la potencia del eje al piñón. Los dientes del piñón impulsan los dientes del engrane, y con ello transmiten la potencia al engrane. Pero de nuevo, en realidad a la transmisión implica la aplicación de un par torsional durante la rotación determinada de velocidad. El par torsional es el producto de la fuerza que actúa tangente al círculo de paso multiplicado por el radio de paso del piñón. Se usará el símbolo F_t para indicar la fuerza tangencial.

Como se escribió F_t es la fuerza que ejercen los dientes del piñón sobre los dientes del engrane. Pero si los engranes giran a velocidad constante y transmiten un valor uniforme de potencia, el sistema está en equilibrio. Por consiguiente, debe haber una fuerza tangencial igual y opuesta que ejercen los dientes del engrane sobre los dientes del piñón. Es una aplicación del principio de acción y reacción.

La fuerza normal F_n y la fuerza radial F_r se pueden calcular a partir de f_t conocida, con las relaciones de triángulo entre fuerza radial y fuerza tangencial.

Numero de esfuerzo flexionante, σ_f

El método de análisis y diseño que se emplea aquí se basa principalmente en la norma AGMA 2001-C95. Sin embargo, como no se incluyen en esta norma los valores de algunos

factores, se agregaron datos de otras fuentes. Estos datos ilustran los tipos de condiciones que afectan al diseño final. Por último el diseñador tiene la responsabilidad para tomar las decisiones adecuadas de diseño.

Para calcular en número de esfuerzo flexionante se usa la siguiente ecuación:

$$\sigma_f = Ft \cdot Ko \cdot Kv \cdot Ks \cdot \frac{Pd \cdot Km \cdot Kb}{h \cdot J} \quad \text{Ecuación 15.}$$

Dónde:

Ko: Factor de sobrecarga

Kv: Factor dinámica

Ks: Factor de tamaño

Pd: Paso diametral

F= Ancho de la cara del diente

Km: Factor de distribución de carga

Kb: Factor de espesor del aro.

J: Factor geométrico.

d.3.CAPÍTULO III: SISTEMA DE ARRANQUE.

d.3.1 El Sistema de Arranque.

Cuando se diseñó y construyó el primer motor de combustión interna a gasolina, uno de los problemas que tuvo fue dar el primer impulso al cigüeñal para conseguir el primer tiempo vivo. La solución se encontró al usar una manivela, dando movimiento a mano hasta encontrar el punto preciso para conseguir el primer impulso o chispazo que inicie el funcionamiento del motor.

Este primer problema se superó con la construcción y uso del motor de marcha (arranque) accionado mecánicamente con un contacto en el piso, a manera de botón que en sí, era el puente para conectar el circuito eléctrico que moviera el arrancador y a su vez, movía el cigüeñal y era posible encontrar con facilidad el primer impulso de inicio de funcionamiento del motor; de esta manera se dejó de usar la manivela de arranque.

Actualmente se tiene un arrancador moderno con mando magnético accionado por un botón en el tablero o un contacto de retorno automático en la llave de encendido o llave de contacto.

d.3.1.1 Finalidad del Sistema de Arranque.

El sistema de arranque tiene por finalidad de dar manivela al cigüeñal del motor para conseguir el primer impulso vivo o primer tiempo de expansión o fuerza que inicie su funcionamiento tal como se aprecia en la figura 8.

El arrancador consume gran cantidad de corriente al transformarla en energías mecánicas para dar movimiento al cigüeñal y vencer la enorme resistencia que opone la mezcla al comprimirse en la cámara de combustión.

Una batería completamente cargada puede quedar descargada en pocos minutos al accionar por mucho tiempo el interruptor del sistema de arranque, se calcula que el arrancador tiene un consumo de 400 a 500 amperios de corriente y entonces nos formamos una idea de que una batería puede quedar completamente descargada en poco tiempo, por eso no es recomendable abusar en el accionamiento del interruptor de arranque.

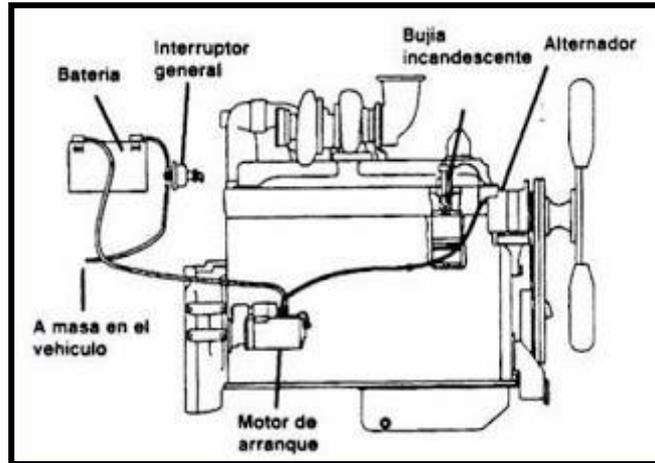


Figura 8. Sistema de arranque.

d.3.1.2 Función de la marcha en aerogeneradores.

Puesto que los aerogeneradores son incapaces de arrancar en velocidades de viento de 4m/s estos deben ser girados por una fuerza externa a fin de que puedan vencer la inercia que existe en los aerogeneradores.

El arrancador montado en su base empuja contra un engranaje motriz cuando el pulsador de encendido es activado, una cremallera engancha con el volante y el aerogenerador es girado.

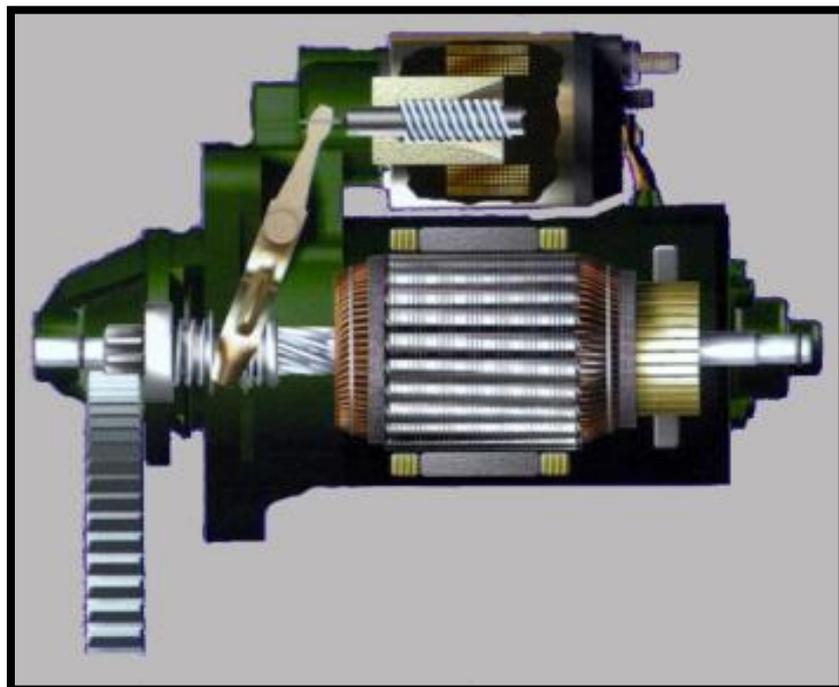


Figura 9. Transmisión entre motor de arranque cremallera.

d.3.1.3. Motor de Arranque.

Es un pequeño pero potente motor eléctrico de gran consumo, el cual es alimentado con la corriente proveniente del acumulador o batería y está diseñado para transformar esa energía eléctrica en potencia mecánica que será utilizada para hacer arrancar el motor del vehículo. Consta de una carcasa o parte fija, en cuyo interior gira un rotor provisto de un engranaje que atacará sus dientes a los de la corona dentada que lleva el volante del motor.

La carcasa posee en su interior uno o dos pares de campos magnéticos o fuertes electroimanes, los que hacen que gire en su interior el rotor, el cual está constituido por una masa cilíndrica de hierro dulce, provista de bobinas o arrollamientos de gruesos conductores tableados y aislados entre sí, unidos en secuencia a las delgas o partes de un colector, elemento de cobre también cilíndrico pero de menor diámetro, sobre el cual se deslizan las escobillas encargadas de electrizar las bobinas en forma sucesiva.

La limpieza de todos los componentes del motor de arranque, la buena aislación de sus partes eléctricas, la suficiente lubricación y ajuste de sus casquillos o cojinetes, el estado normal de las escobillas y la tensión adecuada de los muelles que las presionan contra el colector, la protección del conjunto contra suciedad o polvo, el buen contacto de todas las conexiones eléctricas, etc. son necesarios e imprescindibles para un normal funcionamiento del motor de arranque.

En la figura 10 se pueden observar las partes de un motor de arranque.

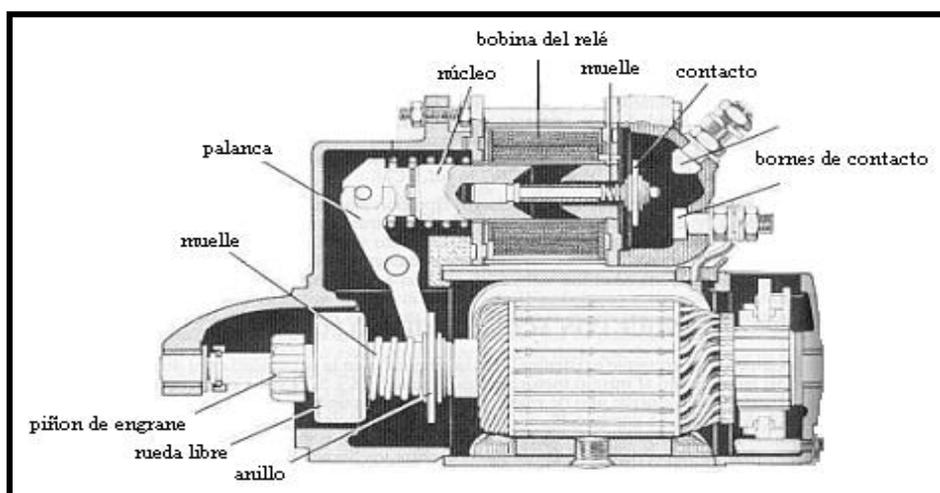


Figura 10. Sección en corte de un motor de arranque.

d.3.1.3.1. Funcionamiento de un motor de arranque.

El motor de arranque funciona como un motor eléctrico, con un piñón y un dispositivo para guiar el piñón en la rueda dentada del volante. Exteriormente, la armadura, las zapatas polares y el devanado de excitación son semejantes a los del generador.

El devanado de excitación se conecta en serie, funcionando como el motor gracias a la corriente principal se adapta bien a la marcha, debido a que, por su elevado par motor, consigue desde el principio sobrepasar la resistencia impuesta por el motor.

La relación de transmisión entre el anillo y la cremallera es de aproximadamente 20:1, en esta alta relación de transmisión el piñón no permanece engranado continuamente puesto que el motor de marcha alcanzaría una frecuencia de giro demasiado alta; por ende, se necesita un dispositivo especial de desenganche, con el fin de que haya separación entre el motor principal y el de marcha, cuando la frecuencia de giro del motor sobrepase cierto valor.

d.3.1.3.2. Estructura del Motor de Arranque.

La constitución interna de un motor de arranque (o arrancador) es similar a un motor eléctrico la que se monta sobre el Carter superior del motor del automóvil, de tal modo que el piñón que lleva en el extremo de su eje, engrane con la corona dentada de la periferia del volante. De esta forma cuando gire el motorcito eléctrico, obligará a girar también al motor del automóvil y podrá arrancar. El tamaño del piñón depende de la velocidad propia del arrancador eléctrico

El arrancador está compuesto básicamente de tres conjuntos:

- Conjunto de Solenoide o mando magnético
- Conjunto del Motor de Arranque propiamente
- Conjunto del impulsor o Bendix

Las partes que conforman al conjunto del Motor de Arranque propiamente dicho, son semejantes a las del generador teniendo una diferencia en el bobinado de los campos y del

inducido. Además hay una diferencia muy notoria, el arrancador consume corriente. Ambos trabajan en base a los principios del magnetismo y del electromagnetismo.

Dichas partes son las siguientes:

- Núcleo magnético
- Resorte de recuperación del núcleo magnético del solenoide
- Collar palanca de conexión del mecanismo de impulsión
- Conjunto de resorte y eje Bendix
- Bocina del extremo posterior del eje del inducido
- Anillo de tope del mando de impulsión o Bendix
- Tambor de embrague del mecanismo de impulsión
- Resorte de amortiguación del retorno del mecanismo impulsor
- Zapatas polares o conjuntos de las bobinas de campo y sus núcleos
- Inducido
- Conjunto porta escobilla
- Escobillas de cobre
- Tapa delantera, su bocina y filtro
- Pernos pasantes con sus anillos de presión
- Casco o carcasa.
 - ✓ La carcasa o casco es de hierro dulce, el bobinado el campo y del inducido es de alambre grueso especial de cobre; las escobillas son de cobre, las demás partes son semejantes a las del generador.

d.3.1.3.3. Parte eléctrica del Motor de Arranque.

En la figura 11 se muestra, la parte resaltada en negro, las dos bobinas eléctricas que forman el relé de arranque. También se ve el bobinado inductor y las escobillas, así como el circuito eléctrico exterior que siempre acompaña al motor de arranque.

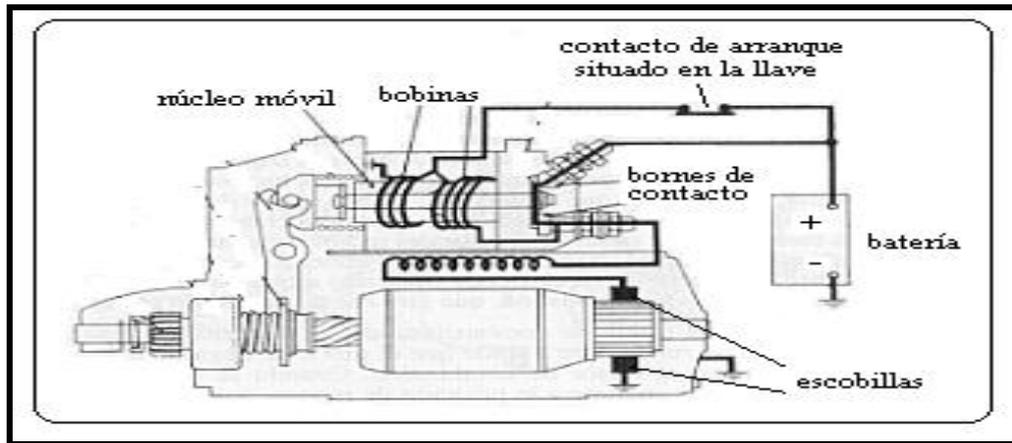


Figura 11. Parte Eléctrica del motor de arranque

d.3.1.4. Tipos de dispositivos de marcha.

La problemática de los automóviles se relaciona en la gran transmisión entre las frecuencias de giro del árbol de levas y el piñón, y en la relación de la guía de entrada y salida del piñón. Los tipos de motores de marcha difieren conforme al tipo de guía:

d.3.1.4.1. Dispositivos de marcha de tracción helicoidal.

Reciben inmediatamente su corriente total y lanza, en función de la inercia de su masa, al piñón de cremallera (tracción del tipo Bendix) sobre una rosca helicoidal de paso largo. La salida se produce en el instante en que aumenta la frecuencia de giro: el piñón regresa a su posición de descanso. Para altas potencias, el dispositivo de marcha helicoidal se construye en dos etapas. La entrada se hace en una pre-etapa eléctrica; a continuación, después de la entrada del piñón, se conecta la corriente principal.

d.3.1.4.2. Dispositivos de marcha de tracción por impulso

La entrada del piñón es mecánica, o por medio del control eléctrico del mecanismo de enlace. Para proteger al motor de marcha contra las altas frecuencia de giro, se instala entre el piñón y el inducido del motor de marcha una rueda libre, como dispositivo de seguridad contra las sobrecargas. Un freno hace que el inducido se detenga con rapidez en su posición de reposo.

d.3.1.4.3. Dispositivos de marcha combinado, de empuje y helicoidal.

Se desea asociar la entrada suave del dispositivo de marcha con el buen par motor de arranque del dispositivo de tracción de empuje. La entrada se hace como en el mecanismo de enlace del dispositivo de marcha de tracción helicoidal, que se controla por medio de la electricidad. No obstante, a la salida el piñón solo retrocede sobre una rosca de paso largo, hasta el punto que le permite el vástago de engranaje. Para eso se necesitan, como dispositivos de seguridad contra la sobrecarga, una rueda libre y un freno para el inducido. El dispositivo de marcha combinado utiliza casi siempre en automóviles particulares.

d.3.1.4.4. Dispositivos de marcha mediante empuje del inducido

La entrada del piñón se produce debida a que el inducido comienza a girar, esto se debe a que se crea un campo magnético entre el inductor y el inducido produciendo una fuerza electromotriz para su giro. Solo cuando termina la secuencia de entrada y se conecta el dispositivo, mediante un mecanismo de conexión, se aplica la corriente total. La secuencia de salida es como si el motor está funcionando; el consumo de corriente disminuye en función de la alta frecuencia de giro del inducido del campo magnético y, en esa forma, se retira el piñón de la cremallera. Como protección del inducido contra las altas frecuencias de giro, se ponen entre el piñón y el inducido acoplamiento de láminas o resortes. El dispositivo de engranaje de empuje del inducido se utiliza, sobre todo, en camiones.

d.4.CAPÍTULO IV: FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE.

Las fuentes de energía renovable son aquellas que, tras ser utilizadas, se pueden regenerar de manera natural o artificial.

Algunas de estas fuentes renovables están sometidas a ciclos que se mantienen de forma más o menos constante en la naturaleza. Existen varias fuentes de energía renovables, como son:

- Energía mareomotriz (mareas)
- Energía hidráulica (embalses)
- Energía eólica (viento)
- Energía solar (Sol)
- Energía de la biomasa

d.4.1.El viento.

El viento es definido como aire en movimiento debido a la diferencia de presión en dos puntos, dicha presión es provocada por variaciones de temperatura.

El tipo de viento en nuestra provincia se ve modificado por factores como:

La circulación general atmosférica, las masas de aire resultantes del relieve y la intervención de corrientes oceánicas.

Es decir nuestra región se encuentra bajo la influencia alterna de masas de aire tropical marítimo (MATM) y masas de aire tropical continental (MATC).

d.4.1.1. Instrumentos de Medición.

Con el objetivo de eliminar en lo posible los efectos producidos por el rozamiento del suelo, incluso sobre el viento medio, los instrumentos que miden la velocidad y la dirección del viento, los anemómetros y las veletas, se ubican a una altura estándar de 10 metros sobre una porción plana y despejada del suelo.

Así, los valores de velocidad del viento que se dan en los informes meteorológicos han sido medidos a esa altura en las estaciones meteorológicas.

Los anemómetros se clasifican en dos tipos: Anemómetro de Copas y El Ultrasónico.

d.4.1.2. Anemómetro de Copas

Los anemómetros rotativos o de Copas poseen rotores que el viento hace girar a una frecuencia proporcional a la velocidad del viento perpendicular a su eje. La dirección de donde sopla el viento se determina por medio de la veleta, un ejemplo el cual se muestra en la Figura 12. Un defecto de estos instrumentos es la inercia de sus piezas móviles, que retarda la reacción a los cambios rápidos en la velocidad o dirección del viento. Otra limitación de estos instrumentos es que solo pueden realizar mediciones bidimensionales del viento, lo cual es suficiente en la mayoría de las investigaciones, donde sólo interesa la velocidad horizontal.



Figura 12. anemometro de copas.

d.4.1.3. Anemómetro tipo Anemo 4403.

Sensor de viento de alta resistencia mecánica y gran flexibilidad. Compite en calidad junto a los mejores sensores del mercado, de plástico o metálicos. Salida de pulsos, frecuencia proporcional a la velocidad de viento. Incorpora rodamientos de acero inoxidable de alta calidad. Construido en plástico técnico de alta calidad como se observa en la figura 13.

- **Aplicaciones.** Cualquier aplicación donde se precise conocer la velocidad de viento tanto para aplicaciones industriales como domésticas: grúas, paneles solares, aerogeneradores, estaciones meteorológicas.

- Puede conectarse a programables (PLC) y a otros sistemas, para poder visualizar la velocidad del viento y/o poder activar alarmas prefijadas.

En la tabla 3 se puede observar las características técnicas del anemómetro de copas.

Tabla 3. Especificaciones técnicas del anemómetro 4403

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.			
Alimentación	5-24V CD	T° almacén	-35°C + 85°C
I máx.	15mA	T° trabajo sin hielo	-20°C +80°C
Rango	2-200Km/h	Peso	15gr4
Precisión	2%		
Grado IP	IP 65	Peso con 20m de cable	1265gr

Fuente: http://wind-sensor.com/anemo_4403.html



Figura 13. Anemómetro 4403

d.4.2. Centrales eólicas.

Aprovechan energía mecánica del viento que mueve las aspas de un aerogenerador (molinos de viento especiales). En el interior, este movimiento se transmite a un alternador.

Ventajas: Es una fuente de energía inagotable y, una vez hecha la instalación, gratuita. Además, no contamina: al no existir combustión, no produce lluvia ácida, no contribuye al aumento del efecto invernadero, no destruye la capa de ozono y no genera residuos.

Inconvenientes:

Es una fuente de energía intermitente, ya que depende de la regularidad de los vientos. El sistema solo es rentable en áreas con fuertes vientos y regulares que por otra parte son bastantes.

d.4.3. Aerogeneradores de eje vertical.

Estas máquinas son conceptualmente más sencillas que las de eje horizontal y no necesitan de ningún sistema de orientación al viento ya que por simetría siempre lo están por lo que no es necesario un sistema de seguimiento del viento y en su funcionamiento tanto las palas, como los rodamientos y los ejes no están sometidos a grandes esfuerzos debidos a este cambio de orientación.

Son de fácil armado ya que se instalan a nivel del suelo y el generador de electricidad puede ser ubicado precisamente a ese nivel, lo que favorece y facilita su instalación y mantenimiento; presentan teóricamente menos problemas estructurales; pero tienen un rendimiento significativamente menor a los molinos de eje horizontal por lo que para producir la misma energía necesitarían de un tamaño mayor.

A excepción del rotor Darrieus, los aerogeneradores de eje vertical operan con vientos de baja velocidad donde difícilmente superan las 200 rpm.

Se emplean para generar potencias que van de los 200 W a los 4 MW.

d.4.3.1. Ventajas de los Aerogeneradores de eje vertical.

- Funcionamiento del rotor para cualquier dirección de viento, lo cual elimina los dispositivos de orientación
- Transmisión más simple y directa de la energía de rotación al eje de la turbina
- En algunos casos, se permite situar el generador directamente sobre el suelo, con lo cual se baja el centro de gravedad y el sistema es más estable estructuralmente

d.4.3.2. Aerogeneradores Savonius helicoidal.

El modelo de rotor Savonius es el más simple, creado por el ingeniero finlandés Siguard Savonius en 1924. Consiste en un cilindro hueco partido por la mitad, en el cual sus dos mitades han sido desplazadas para convertirlas en una S.



Figura 14. Detalle de Aerogenerador Savonius helicoidal.

Las partes cóncavas de la S captan el viento, mientras que los reversos presentan una menor resistencia al viento, por lo que giran en el sentido que menos resistencia ofrezcan.

El aerogenerador engloba varias componentes de diversa naturaleza que trabajan en conjunto, con el fin de optimizar la labor de conversión de la energía eólica en energía eléctrica. La figura 14 muestra un modelo del prototipo diseñado en el cual se aprecia el rotor y la estructura soportante del prototipo. Debido a la gran resistencia al aire que ofrece este tipo de rotor, solo puede ser utilizado a bajas velocidades. El uso para generación de energía eléctrica precisaría de multiplicadores de giro, que reducirían el rendimiento. Es por tanto útil para aplicaciones de tipo mecánico, como el bombeo de agua.

d.4.3.3. Aerogenerador Darrieus.

Diseñado y patentado por el académico francés George Darrieus en 1931, este modelo es el más popular de los aerogeneradores de eje vertical. Nace por la necesidad de evitar la construcción de hélices sofisticadas como las que se utilizan en los aerogeneradores de eje

horizontal. Permite mayores velocidades que las del rotor Savonius, pero no alcanza a las de un rotor de eje horizontal. Fue redescubierto por los ingenieros en los años setenta por Laboratorios Sandia, quien construyó en 1974, un prototipo de 5 m de diámetro. Consta de unas finas palas con forma de ala de avión simétricas, que están unidas al eje solo por los dos extremos, con una curva especial diseñada para un máximo rendimiento entre las dos uniones del eje.

No necesita de un sistema de orientación; por lo que puede ser instalado en cualquier terreno sin necesidad de levantar altas torres, lo cual se traduce en un ahorro sustancial. Los alerones del Darrieus experimenten una fuerte fuerza centrífuga. Al trabajar en pura tensión hace que los alerones sean simples y económicos, tal como se puede observar en la figura 15.

Este rotor presenta el problema que no puede arrancar por sí mismo, teniendo que emplearse un sistema de arranque secundario, aunque una vez en marcha es capaz de mantenerse gracias a la aerodinámica de sus palas. Muchas veces se aplica al diseño de este aerogenerador, rotores Savonius para facilitar su partida. Su velocidad de rotación es muy elevada, lo que aumenta la potencia recuperable.



Figura 15. Aerogenerador Darrieus.

d.4.4. Energía Solar

La energía solar es la energía que llega del Sol en forma de luz (tanto visible como no visible).

La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han evolucionado con el tiempo desde su concepción.

En la actualidad, el calor y la luz del Sol puede aprovecharse por medio de captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, que pueden transformarla en energía eléctrica o térmica.

Es una de las llamadas energías renovables o energías limpias, que puede hacer considerables contribuciones a resolver algunos de los más urgentes problemas que afronta la humanidad.

Las diferentes tecnologías solares se clasifican en pasivas o activas en función de la forma en que capturan, convierten y distribuyen la energía solar.

Las tecnologías activas incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores térmicos para recolectar la energía. Entre las técnicas pasivas, se encuentran diferentes técnicas enmarcadas en la arquitectura bioclimática: la orientación de los edificios al Sol, la selección de materiales con una masa térmica favorable o que tengan propiedades para la dispersión de luz, así como el diseño de espacios mediante ventilación natural.

- Ventajas: Es inagotable, gratuita, limpia.
- Inconvenientes: Es difícil de almacenar, ha de ser transformada inmediatamente en calor o electricidad, no está desarrollada la tecnología necesaria para que su captación sea suficientemente económica.

El aprovechamiento de esta energía se puede hacer a través de:

- Conversión fotovoltaica: Es la transformación de la energía luminosa en eléctrica en unas células llamadas células solares o fotovoltaicas.

d.4.4.1. Radiación solar obtenida en el sector la Argelia de la ciudad de Loja.

Latitud: 04°01'50"

Longitud: 79°11'58"

Altitud: 2160 msnm

Tabla 4. Radiación solar media

Año	Mes	Radiación solar			Temperatura del aire		
		Min.	Max.	Med.	Max.	Min.	Med.
		(kWh./m ² día)			°C		
2010	Julio	2,08	6,25	4,5	27,28	6,33	17,17
2010	Agosto	2,13	6,99	4,5	31,05	3,78	19,99
2010	Septiembre	1,68	6,78	3,89	32,15	5,9	19,68
2010	Octubre	2,1	7,18	4,57	32,07	8,12	21,12
2010	Noviembre	1,42	7,2	4,66	32,98	5,44	20,99
2010	Diciembre	1,82	6,15	3,78	31,18	7,57	19,95
2011	Enero	2,09	5,67	3,85	30,72	9,53	19,99
2011	Febrero	0,96	6,67	4,11	31,84	9,81	20,27
2011	Marzo	1,75	6,89	4,55	27,19	10,64	18,86
2011	Abril	1,9	5,49	3,88	31,56	11,32	20,13
2011	Mayo	1,33	6,56	3,42	32	4,64	19,43
2011	Junio	1,28	6,01	3,6	31,54	8,3	19,26
	Anual	1,71	6,49	4,11	30,96	7,61	19,74

Fuente: "Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de generación eléctrica para la vivienda sostenible de interés social del AEIRNNR".

d.4.4.2. Radiación solar diaria. HPS.

Los datos de radiación solar los publican varias instituciones, como el Instituto Nacional de Meteorología y normalmente se expresan en kWh/m²/día, y se le ha llamado HPS

(horas de pico solar) aunque también los hay expresados en cal/cm²/día “Langley”, en MJ/m²/día, 100 m Wh/cm²/día, y Wh/m²/día.

A efectos del dimensionado de los paneles nos interesa que se relacionen con las prestaciones expresadas por los ensayos de los módulos fotovoltaicos que se establecen para condiciones normalizadas expresando la máxima potencia que alcanza un módulo, llamándole “potencia máxima de pico” o intensidad máxima de pico y viene expresado en 1000 W/m², a 25°C.

Así, un valor de radiación de 4,78 kWh/m²/día, indica 4,78 HPS, o lo que es lo mismo, que al cabo de un día el valor de la radiación normalizada aprovechable que puede captar un módulo es de 4,78 horas, de manera que si éste tiene una potencia de pico, P_p= 100 W, a 18,18 V_p, al cabo de un día el módulo captaría, teniendo en cuenta su rendimiento ηp , que a falta de datos concretos estaría cercano al 90%.

d.4.4.3. Dimensionamiento de paneles fotovoltaicos para su instalación.

d.4.4.3.1. Necesidades diarias del usuario, Nu.

Debemos conocer el consumo de los receptores, expresados en vatios (W) (si viene en amperios(A), multiplicar por el valor de la tensión de uso, normalmente 12 V) además de las horas hipotéticas o calculadas de uso de cada receptor

$$\mathbf{Energía\ diaria = \sum equipos \times Pequipo \times horas\ de\ uso} \quad \mathbf{Ecuación\ 16.}$$

$$\mathbf{Pequipo = \tau \times W} \quad \mathbf{Ecuacion\ 17.}$$

Dónde:

P= potencia del motor de arranque.

τ = torque necesario para vencer inercia de arranque.

W= velocidad angular máxima de diseño de los aerogeneradores.

Tabla 5. Consumo de potencia.

Cantidad	Equipo	Potencia W	Potencia W subtotal	Horas/ día de uso	Energía Wh
A	B	C	D= (A×C)	E	F= (D×E)
2	Lámparas	15	30	4	120
1	Radiograbadora	10	10	4	40
1	Televisor	60	60	2	120
1	Refrigeradora	48	48	24	1.152
			Total= Wh/ día		1.152

Fuente: www.codeso.com.

Con los datos obtenidos de potencia diaria se procede a calcular la potencia útil como se observa en la tabla 4, el valor de la potencia horas día de la instalación hay que incrementarle un 20% como margen de seguridad, tal como se observa en la ecuación 12.

$$Eu = Ed \times 1,2$$

Ecuación 18.

Dónde:

Eu= Energía útil

Ed= Energía diaria.

d.4.4.3.2. Cálculo del coeficiente de pérdidas totales de la instalación K_T :

Toda instalación solar fotovoltaica se ve afectada por infinidad de pérdidas, tales como la auto descarga de la batería, por rendimiento del convertidor, si lo hay, por el del regulador, y por otros de difícil justificación, pero que la afectan de todos modos. Veamos los coeficientes de pérdidas que deben tenerse en cuenta:

- **K_A** : por la auto descarga diaria de la batería, dada a 20° C.
- **K_B** : originada por el rendimiento de la batería.
- **K_C** : debido al rendimiento del convertidor utilizado (si lo hay).
- **K_R** : por el rendimiento del regulador empleado.
- **K_X** : otras pérdidas no contempladas, por efecto Joule, caídas de tensión, etc.

- **D_{aut}**: días de autonomía con baja o nula insolación.
- **P_d**: Profundidad de descarga de la batería, en tanto por uno.

$$KT = [1 - (KB + KC + KR + KX)] \times \left[1 - \frac{(kA \times D_{aut.})}{PD} \right] \quad \text{Ecuacion 19.}$$

Los valores típicos de cada coeficiente, a falta de conocerlos exactamente al facilitarlos el fabricante son:

KA = son las perdidas debido a la auto descarga diaria de la batería dada entre los 15 y 20°C. Esta pérdida variar en los catálogos de las baterías dada por los fabricantes, sus valores por defecto es de 0.5%

KB = perdidas debido al rendimiento de la batería que por lo general tienen un valor de 5%, pero pueden escogerse un valor del 10% para viejos acumuladores o fuertes descargas o bajas temperaturas.

KC = perdidas debido al rendimiento del convertidor utilizando los valores por defecto, suelen oscilar entre el 80 y 95% por lo que las pérdidas oscilan entre el 20 y 5%.

KR = perdidas debido al rendimiento del regulador empleado, suele depender de la tecnología empleada el valor del rendimiento por defecto es del 90% por lo que las pérdidas serán del 10%.

KX = otras perdidas no encontradas por efecto joule, caída de tensión, etc se escoge un valor por defecto del 10%.

D_{aut} = días por autonomía, con bajo o nula insolación entre 3 y 5 días.

P_d = profundidad de descarga de la batería, que vendrá dada por el fabricante de las baterías, por defecto se escoge un valor de 60 y 70%

NOTA: Aunque se ha dado los valores en % por el cálculo en la ecuación de KT, se utiliza el tanto por uno (una vez de 50% se utiliza 0.5 y un 5% se utiliza 0.005%)

Todos ellos afectan al cálculo del consumo máximo estimado de la instalación o **C_{max}**.

d.4.4.3.3. Cálculo de carga máxima de la instalación.

Quedando finalmente el consumo máximo que deben proporcionar los paneles C_{max} , así:

$$C_{max} = \frac{EU}{KT} \quad \text{Ecuación 20.}$$

Dónde:

C_{max} = Potencia máxima en la instalación.

EU = Energía útil.

KT = Coeficiente de pérdidas totales.

$$I_{max} = \frac{C_{max}}{V} \quad \text{Ecuación 21.}$$

Dónde:

$I_{máx.}$ = Corriente máxima

V = Voltaje.

d.4.4.3.4. Cálculo de la energía del panel.

Como conocemos las horas de pico solar aprovechables al cabo de un día, podremos calcular la energía que puede llegar a producir un panel solar elegido. A falta de conocer exactamente el valor de su rendimiento, η_p , tomamos el valor del 90%, quedando así E_p :

$$E_p = P_p \times H_p \times \eta_p \quad \text{Ecuación 22.}$$

Dónde:

E_p = Energía del panel solar.

P_p = potencia de panel.

H_p : horas pico solar.

η_p = rendimiento del panel.

d.4.4.4. Cálculo del número de paneles, conectados en paralelo.

Es muy sencillo: “Si consumimos cada día una cantidad X, como mínimo esa misma cantidad será la energía que deberá producir el panel o varios en paralelo si fuera necesario, con el fin de sumar sus potencias.

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{C_{max}}{E_p} \quad \text{Ecuación 23.}$$

Dónde:

C_{max}= potencia máxima en la instalación.

E_p= Energía del panel.

d.4.4.5. Acumulador o Batería.

Una batería es un acumulador químico de energía eléctrica continua.

Si aplicamos sobre sus terminales una tensión producida por un alternador o por un cargador, se crea una corriente que modifica la composición de sus elementos por el fenómeno de la electrolisis: la batería acumula energía. Cuando la dirección de las reacciones químicas es inversa (es decir, cuando la energía de la batería es consumida), la batería devuelve la carga acumulada como un generador de corriente continua.

d.4.4.5.1 Funcionamiento de las baterías.

Una batería de 12 V consiste en 6 elementos de 2V como se observa en la figura 16 y 17, cada uno unidos en serie y colocados individualmente en las celdas de un contenedor apropiado.

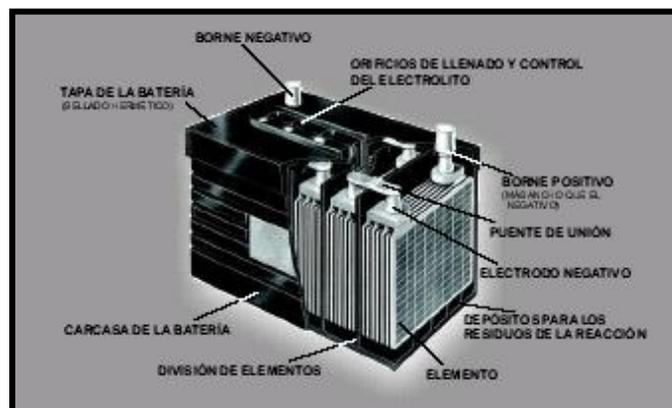


Figura 16. Partes de una batería.

Un elemento está formado por varias placas de plomo cubiertas exteriormente con una sustancia activa positiva (óxido de plomo, PbO₂) y varias con una sustancia activa negativa (plomo poroso, Pb) separadas entre sí por separadores para evitar cortocircuitos.

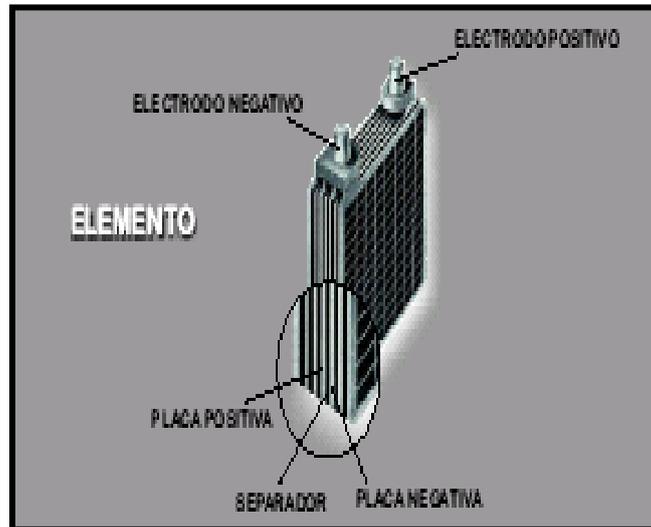


Figura 17. Placas de plomo.

El elemento se encuentra en una celda del contenedor hundido en una solución electrolítica compuesta de ácido sulfúrico y agua destilada. Cada elemento genera una diferencia de potencial de 2V. El proceso de carga y descarga consiste en la migración de cargas eléctricas entre placas, a través de la solución electrolítica. Debido al uso normal de la batería las placas se van gastando y generan un pequeño residuo (sulfato de plomo, PbSO₄) que se va acumulando en la parte baja de las celdas.

d.4.4.5.2. Capacidad del acumulador.

El acumulador se dimensiona pensando en la autonomía de la instalación por si se producen períodos de días seguidos sin sol o con insolación insuficiente como en los días nublados. Son los llamados “días de autonomía”.

Por otro lado hay que conseguir que la profundidad de descarga máxima diaria no supere la tolerable por el tipo de acumulador elegido.

Si la descarga diaria provocada a la batería no supera el 15% de su capacidad se consiguen los valores aconsejados de profundidad de descarga.

Relacionando el consumo C_{max} por los días de autonomía y con el porcentaje de profundidad de descarga máxima esperado (p.d. del 65%) tendremos la capacidad

expresada en vatios, pero hay que dividir por la tensión de servicio (12V) para obtener la capacidad adecuada del acumulador en Ah:

$$C_{max} = \frac{I_{max} \times \text{días de autonomía}}{\text{Profundidad de descarga de la batería}} \quad \text{Ecuación 24.}$$

Dónde:

I máx. = corriente máxima.

Cmax= Potencia máxima en la instalación.

d.5. CAPÍTULO V: SISTEMAS DE MANDO Y CONTROL.

d.5.1 PLC Easy mando control y comunicación.

El relé de control inteligente easy500, easy700 y easy800 son un sistema universal con características comunes de programación y operación: Para soluciones inteligentes en el campo de la ingeniería mecánica un ejemplo se puede observar en la figura 18.



Figura 18. Sistema de mando y control

El relé de control easy800 combina prácticamente todas las características de funcionalidad de un PLC con la conocida característica de simplicidad de manejo de easy. Easy800 le permite gracias a la red de interconexión de hasta 8 equipos implementar aplicaciones con más de 300 puntos de I/O.

d.5.1.1. Características técnicas del mini PLC Easy.

- Suministro de tensión y entradas en las versiones disponibles: 24 V y 100 – 240 V AC, 12 V y 24 V DC.
- 8 entradas digitales.
- 2 entradas analógicas posibles: 0 - 10 V (resolución 0 – 1023 bit), en las versiones 12 V, 24 V DC y 24 V AC.

- 4 salidas de relé: 8 A (10 A UL) o 4 salidas de transistor: 24 V DC/0.5 A por salida.
- 128 vías lógicas con 3 contactos y 1 bobina en serie.
- Sus ventajas.
 - ✓ El equipamiento también incluye:
 - ✓ 16 textos de mando y señalización
 - ✓ 8 relojes temporizadores semanales y anuales
 - ✓ 16 relés temporizadores multifunción
 - ✓ 4 contadores de tiempo de servicio
 - ✓ 16 comparadores analógicos / interruptores de valor umbral
 - ✓ 2 contadores rápidos (variantes CC)
 - ✓ 2 contadores de frecuencia (variantes CC)
 - ✓ Variantes disponibles con y sin display/teclado

d.5.2. Relés de potencia.

Estos relés posibilitan conectar corriente de conmutación nominal de más de 50 A y son adecuados para accionar motores de arranque entre otros, los relés de potencia tal como se observa en la figura 19 son dispositivos pequeños que sirven para abrir y cerrar un circuito con grandes corrientes de accionamiento.



Figura 19. Relé de potencia.

Dentro del sistema de control en el sistema de arranque este Relé cumple la función de abrir el circuito para enviar la señal de salida a otros relés que tienen contactos normalmente abiertos como se observa en la figura 20 haciendo así, que estos se cierren y

envíen una señal a las bobinas para que estas dejen pasar la corriente hacia los motores de arranque y de esta manera comienza a trabajar nuestro sistema.

Tabla 6. Datos Básicos de Relé de potencia.

Datos Básicos.			
Lugar de origen	China	Marca	Bosch
Numero de modelo	0332019150	Teoría	Relés de voltaje
Uso	Fines generales	Corriente nominal	60 A
Proteja la característica	sellado	Carga de contacto	12V

Fuente: catalogo Bosch

Diagrama de funcionamiento

El relé consta de un contacto normalmente abierto y un cerrado tal como se puede observar al momento de energizar la bobina 85 y 86 el contacto normalmente cerrado pasa a abrir el circuito en 30-87

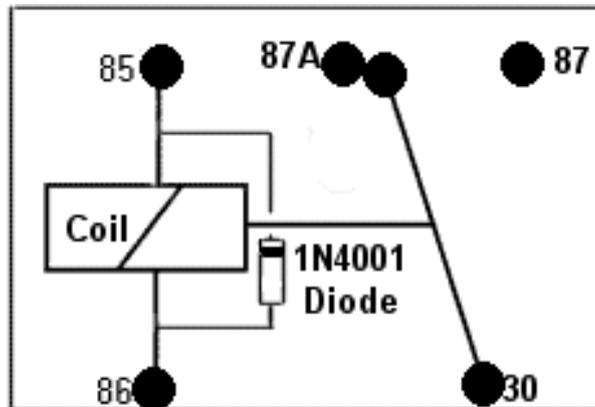


Figura 20. Diagrama del relé de potencia.

d.5.3. Relé de Potencia serie 006.

El relé o el relay de 12V es un componente importante del sistema eléctrico de los automóviles y camiones modernos. Estos aparatos se encargan de conectar y desconectar la energía eléctrica de los dispositivos de alta potencia, para reducir el recorrido de los cables de grueso calibre y así disminuir el peso y el costo de la instalación eléctrica.



Figura 21. Relé de Potencia.

Los relé consumen muy poca potencia para realizar la conmutación, lo que permite que sus cables de control sean delgados tal como se observa en la figura 21 y, de esta manera, el relé permite controlar los dispositivos mediante un interruptor de baja potencia, reduciendo aún más el costo y el peso de la instalación. En raras ocasiones, los relés dejan de funcionar.

Tabla 7. Datos técnicos de Relé

DATOS TECNICOS.			
Tensión nominal.		V	12
Corriente de excitación		A	1.1
Corriente de carga	Servicio permanente	A	80
Corriente de carga	Corriente de carga hasta de	1-8 A	800
Vida útil del contacto	Mecánica	mil	500
Vida útil del contacto	Eléctrica	mil	100
Corriente de desconexión con carga inductiva.		A	80
Dimensiones		mm	110 x 55 x 60
Peso		kg	0.78

Fuente: Catálogo Bosch.

Su función es para seleccionar que dispositivo electrónico o eléctrico va a funcionar se utiliza por lo regular para seleccionar una posición en manual o automático.

Cuando una persona selecciona en la posición de manual el aparato eléctrico funcionara en manual ya sea una bomba eléctrica sumergible, un pistón hidráulico accionado por una válvula eléctrica, por solenoide etc.

Pero cuando una persona selecciona en modo automático este funcionara en modo automático, la bomba abastecerá de agua o cualquier líquido según su aplicación.

d.5.4. Selectores de Posición.

Existen de varias posiciones los selectores de dos de tres de cuatro posiciones etc.

En este caso vemos un selector de dos posiciones y las podemos utilizar para ponerlos en manual y automático, consta de una serie de contactos eléctricos ya sean en modo (No) que su contacto es normalmente abierto y el modo (Nc) que significa normalmente cerrado, por lo regular para poner en un circuito eléctrico el normalmente cerrado se utiliza para el modo manual y el modo normalmente abierto se utiliza para el modo automático, pero estos selectores también se pueden utilizar para activar bobinas de contactores, relays, arrancadores magnéticos, el selector de posición tal como se observa en la figura 22 es un selector de accionamiento manual.



Figura 22. Selector de Posición.

d.5.5. Señalización.

La señalización de los equipos consiste en testigos, generalmente luminosos, que se ponen en las instalaciones para poder disponer de información del estado del funcionamiento de la misma tal como se observa en la figura 23 estos son de diferentes colores.



Figura 23. Luz Piloto

Según el código de colores para visualización de luces piloto, el color rojo nos indica una señal de emergencia, un amarillo alerta de funcionamiento anormal.

d.5.6. Breakers de protección.

Son artículos diseñados para proteger las redes de baja tensión y aparatos a ellos conectados ante una sobrecarga o corto circuito, la perilla se acciona a neutro automáticamente. Cada unidad posee instrucciones para el instalador y el usuario, su sistema de calibración garantiza un disparo rápido ante fuertes variaciones de corriente. Cada unidad es sometida a dos pruebas de desempeño que garantizan su calidad.

d.5.6.1. Especificaciones Técnicas.

Son artículos elaborados en Bakelita, con herrajes de cobre y hierro, bañados en estaño, diseñados para soportar una capacidad de 15A, 20A, 30A, 40A, 50A o 60A.

d.5.7. Conductores.

Los materiales conductores son aquellos materiales cuya resistencia al paso de la corriente es muy baja, recordemos que un buen aislante presenta una resistencia de hasta 1024 veces mayor que un buen conductor.

En general podemos denominar material conductor a cualquier sustancia o material que sometido a una diferencia de potencial eléctrico proporciona un paso continuo de corriente eléctrica.

Tabla 8. Características de los conductores de cobre.

CONDUCTORES DE COBRE MÁS UTILIZADOS.			
CALIBRE (AWG)	SECCIÓN (mm) ²	DIÁMETRO (mm)	AMPERAJE (A)
20	0,52	0,813	3
18	0,82	1,024	6
16	1,31	1,291	8
14	2,08	1,628	15
12	3,31	2,053	25
10	5,26	2,588	35
8	8,37	3,264	45
6	13,30	4,115	55
4	21,15	5,189	70
2	33,62		95

Fuente: Conductores eléctricos.

Resistencia del conductor.

$$R = \frac{\rho \times l}{s}$$

Ecuacion 25.

Dónde:

R=resistencia.

ρ = Coeficiente de resistividad.

L= longitud

S= sección.

e. MATERIALES Y MÉTODOS.

e.1 Materiales.

Los materiales necesarios para desarrollar cada una las etapas del proceso investigativo, están detallados a continuación.

✓ **Materiales de oficina y otros.**

- Computadora.
- Calculadora.
- Impresora.
- Hojas de papel bond.
- Bolígrafos.

✓ **Material tecnológico.**

- Software:
 - Microsoft Word.
 - Microsoft Excel.
 - Power Point.
 - Auto Cad.
 - Logo Easy.
- Equipos de medición:
- Anemómetro ANEMO 4403. Este equipo fue utilizado para medir las velocidades de viento que se necesitan para optimizar el funcionamiento de los aerogeneradores de eje vertical que se encuentra emplazados en el AEIRNNR.
- Multímetro digital.
- Pinza Amperimétrica.
- Romana.

e.2 Métodos

- **Método analítico:** Con la ayuda de este método se pudo tener un criterio preciso de cómo construir un sistema de arranque alimentado por energías renovables como la energía solar a través de paneles fotovoltaicos.
- **Método sintético:** Ya analizado el sistema de arranque se pudo hacer uso de la síntesis de información para de esta forma buscar una fuente de consulta que nos brinde las ideas necesarias para la parte de diseño del sistema.
- **Método experimental:** A través de este método se pudo obtener información referente al funcionamiento del sistema de arranque y su posterior evaluación, funcionamiento y rendimiento.
- **Método inductivo:** Gracias a este método nos fue posible tener una idea clara del funcionamiento del sistema de arranque en su totalidad y en sí de cada una de las partes que lo componen, basados en datos e información real obtenida a través del método experimental.
- **Método deductivo:** Este método nos ayudó a descomponer en partes cada uno de los materiales utilizados para nuestro sistema de arranque, ya que partimos desde una noción total de todo el sistema de arranque, hasta llegar a cada uno de los elementos y que lo componen.

El proceso metodológico de la investigación partió desde la siguiente interrogante: ¿Cómo ayudar a vencer la inercia de arranque de los aerogeneradores de eje vertical emplazados en el AEIRNNR?

- ✓ Necesidad de acoplar a los aerogeneradores un sistema de arranque autónomo para vencer la inercia que estos poseen y en sí mejorar su funcionalidad.

Para vencer la inercia de arranque de los aerogeneradores, es necesario implementar un sistema de arranque similar al de los automóviles, este funciona principalmente a través de un motor de arranque que a su vez lleva incorporado un solenoide para ayudar al enganche y desenganche del piñón incorporado en el eje del motor con la rueda dentada acoplada en el eje del aerogenerador, cuando el sistema de control a través del anemómetro de copas envíe una señal de entrada al PLC indicando que hay vientos de 4m/s y este a su vez envía la señal de salida para que los relés de potencia cierren el circuito y se activen los motores de

arranque.

- ✓ Sistemas de captación, almacenamiento y transducción de la energía eléctrica con fines de aprovechamiento
- ✓ Fuentes bibliográficas y de consulta sobre estudios similares o pertinentes al tema.

Luego se determinó los problemas posibles de la investigación, los cuales se resumen en la siguiente lista.

- ✓ El bajo potencial eólico que existe en el lugar donde se encuentran emplazados los aerogeneradores.
- ✓ La falta del diseño de un sistema de arranque para aerogeneradores de eje vertical que brinde la información pertinente a nuestro tema de estudio.
- ✓ Falta de motores de arranque de baja potencia.

Una vez conocidas las necesidades de los aerogeneradores y sus posibles problemas para su funcionamiento, se procedió a trabajar de la siguiente manera:

- ✓ Revisión general de sistemas de arranque.
- ✓ Organización de la información adquirida.
- ✓ Investigación sobre el potencial eólico en el sector de estudio.
- ✓ Análisis de las características del recurso.
- ✓ Deducción de cuál es el sistema de transmisión adecuado para optimizar el funcionamiento de nuestro sistema de arranque.
- ✓ Esquematación y caracterización de todos los componentes del sistema basado en el recurso a explotar.
- ✓ Dimensionamiento de los componentes.
- ✓ Búsqueda de componentes y adquisición de los mismos.
- ✓ Adecuación del lugar de emplazamiento.
- ✓ Planificación de ensamblaje del equipo.
- ✓ Pruebas funcionales del sistema de arranque.
- ✓ Análisis general de posibles fallas existentes en el sistema instalado.
- ✓ Análisis operacional del sistema de arranque.
- ✓ Socialización de los resultados obtenidos.

Al proceso metodológico mencionado anteriormente, se lo realizó con la ayuda de los

métodos científicos como:

La observación, entrevista, deducción, análisis y síntesis entre otros.

A toda la información relacionada al tema de estudio se la realizó de la siguiente forma:

- ✓ Observaciones realizadas: luego de redactadas y organizadas fueron llevadas a documento digital, siendo analizadas y categorizadas para su uso en las diferentes etapas de diseño.
- ✓ Información de consultas, entrevistas: Estas fueron organizadas analizadas y llevadas al documento de acuerdo al orden de consulta que requeríamos.
- ✓ Mediciones: Una vez obtenidos, estos fueron descargados en un archivo digital del tipo hoja de cálculo, para luego ser procesados en las diferentes herramientas informáticas con las que contaba el equipo de investigación.

f. RESULTADOS

f.1. Generalidades de la propuesta planteada.

En el AEIRNNR de la Universidad Nacional de Loja se encuentran instalados dos prototipos de aerogeneradores de eje vertical, este lugar escogido por el departamento de energías alternativas del área es un lugar para la enseñanza a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica referente a la explotación y aprovechamiento del recurso eólico que tiene la ciudad de Loja; pero tiene la desventaja de poseer vegetación de elevada altura alrededor de los dos prototipos, lo que además se encuentran instalados al nivel del suelo, siendo este último una desventaja adicional. Lo anterior conlleva a que existan pérdidas en la velocidad del viento, y por ende a que no se aproveche de mejor manera el recurso eólico del sector.

Los aerogeneradores de eje vertical necesitan velocidades nominales desde los 4m/s para la generación de energía eléctrica, pero de acuerdo a mediciones realizadas por los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica, en el sector de emplazamiento hay vientos que van desde los 3m/s hasta 5m/s; pero para romper la inercia que tienen cada uno de estos aerogeneradores necesitan velocidades mayores a la nominal, debido a este problema que presentan estos prototipos se ha visto la importancia de implementarles un sistema de arranque que les permita romper la inercia que tienen cada uno de estos cuando el viento se encuentre a velocidades nominales de aprovechamiento.

f.2. Descripción general del proyecto de tesis.

El sistema está constituido por una transmisión angular-angular, el cual permita el acople y desacople de la turbina con respecto al sistema de transmisión cuando haya vientos nominales de aprovechamiento.

Este es un sistema de arranque muy similar a los sistemas que poseen los vehículos, el cual permite el acoplamiento de la fuente motriz con el motor de arranque.

En el sector donde se encuentran instalados los dos prototipos no hay fuente de alimentación de energía eléctrica, debido a que se encuentran alejados de la acometida principal de la EERSA; y es por ello que se creyó conveniente implementar un sistema de abastecimiento energético, autónomo, por medio de un sistema fotovoltaico, el cual consta principalmente de paneles solares los cuales necesitan un banco de baterías para receptar la

energía transmitida y suministrarla por un tiempo adecuado.

Como anteriormente se describió se va a utilizar un sistema de arranque similar al de los vehículos y cabe recalcar que la alimentación de estos sistemas es a 12V CD por tal razón no es necesario utilizar un inversor de energía.

El sistema de arranque consta también de un tablero de control electromecánico, el cual permite accionar a cualquiera de los dos prototipos (uno a la vez) por medio de un selector de tres posiciones, el cual enviará la señal de accionamiento hacia el aerogenerador deseado.

Para que los motores de arranque comiencen a funcionar es indispensable y necesario monitorear las velocidades de viento por medio de un anemómetro de copas el cual enviará señales de pulsos hacia el tablero de control, que consta principalmente de un mini PLC, que es el encargado de registrar las señales transmitidas por el anemómetro para la activación de los relés de potencia que accionan los motores de arranque.

De acuerdo a lo explicado anteriormente se indica por medio de la figura 24 un bosquejo general del sistema de arranque montado.

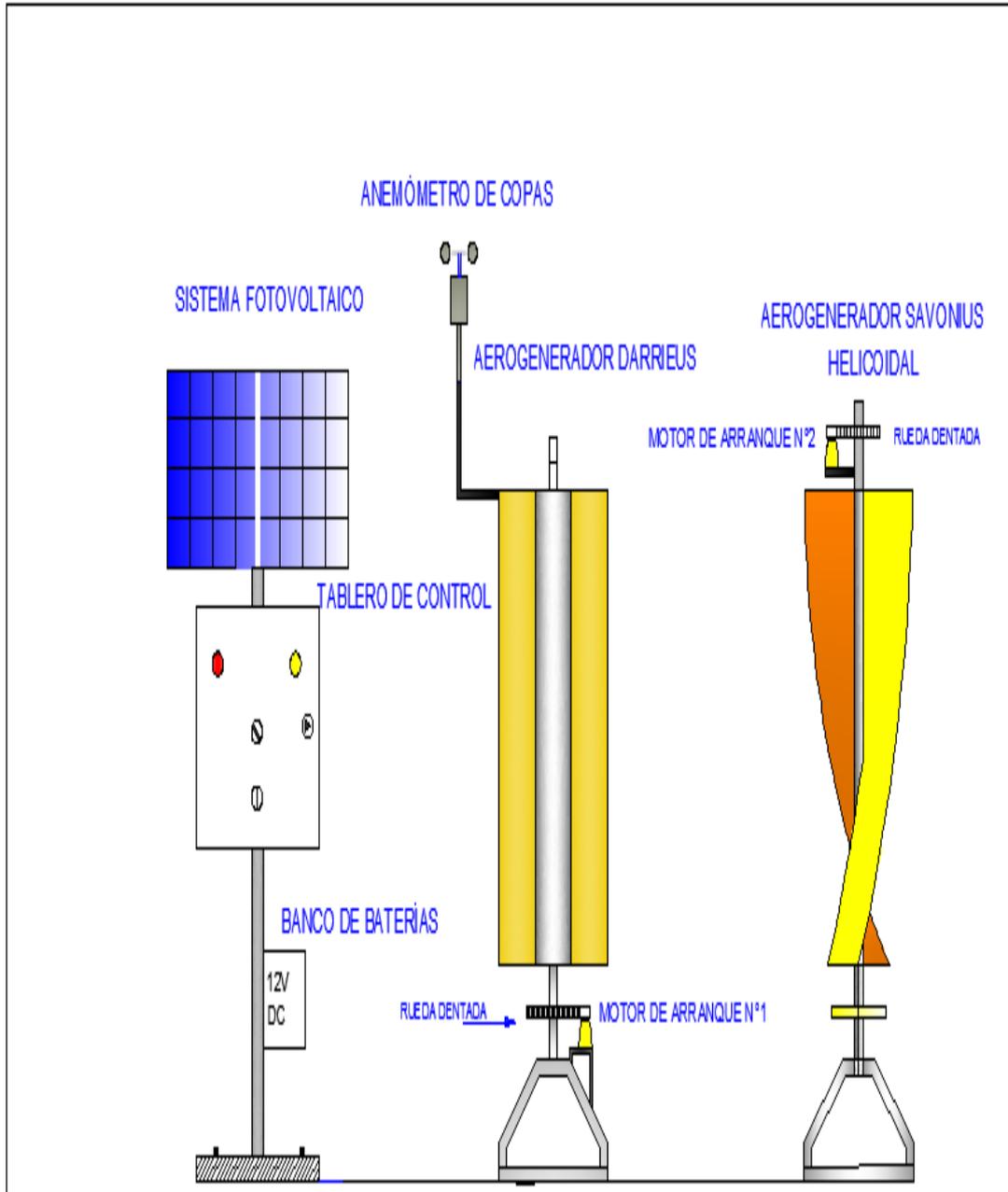


Figura 24. Esquema general del sistema de arranque.

f.3.Cálculo de la potencia requerida para vencer la inercia de cada uno de los aerogeneradores

Para hallar la potencia motriz y las demás características con las que contará el sistema de arranque, es necesario establecer la inercia que hay que vencer en cada uno de los prototipos de aerogeneradores.

Para el cálculo de la inercia necesaria, se considera las partes móviles de cada uno de ellos.

f.3.1. Prototipo 1: Aerogenerador de eje vertical con rotor tripala.

Este prototipo de aerogenerador de eje vertical consta de 4 partes principales, las cuales se detalla a continuación:

- ✓ Turbina.
- ✓ Estructura.
- ✓ Transmisión de potencia.
- ✓ Generador.

Para realizar los cálculos pertinentes para el diseño del sistema de arranque se parte de los siguientes datos fundamentales proporcionados por la tesis que titula “Construcción y parametrización funcional de un prototipo de aerogenerador de eje vertical”

Características fundamentales del aerogenerador.

- ✓ Diámetro del rotor: 2m
- ✓ Altura del rotor: 2m
- ✓ Torque de diseño del aerogenerador: 86,95 Nm
- ✓ Material de partes móviles del aerogenerador: Latón de hierro, acero AISI 1040.
 - $\delta_{\text{laton de hierro}}: 7870\text{kg/m}^3$
 - $\delta_{\text{Acero}}: 7850\text{ kg/m}^3$
- ✓ Eje de aerogenerador
 - Material: Acero SAE 4340
 - Esfuerzo permisible: 70kg/mm^2
 - $\varnothing_{\text{eje}}: 18\text{mm}$
 - $M_b = 249.324\text{Nm}$ Máximo momento flector
 - $M_t = 86.95\text{Nm}$ Máximo momento torsor
 - $K_b = 1.5$ Coeficiente de diseño por carga flectora intermitente
 - $K_t = 1.5$ Coeficiente de diseño por carga torsional intermitente

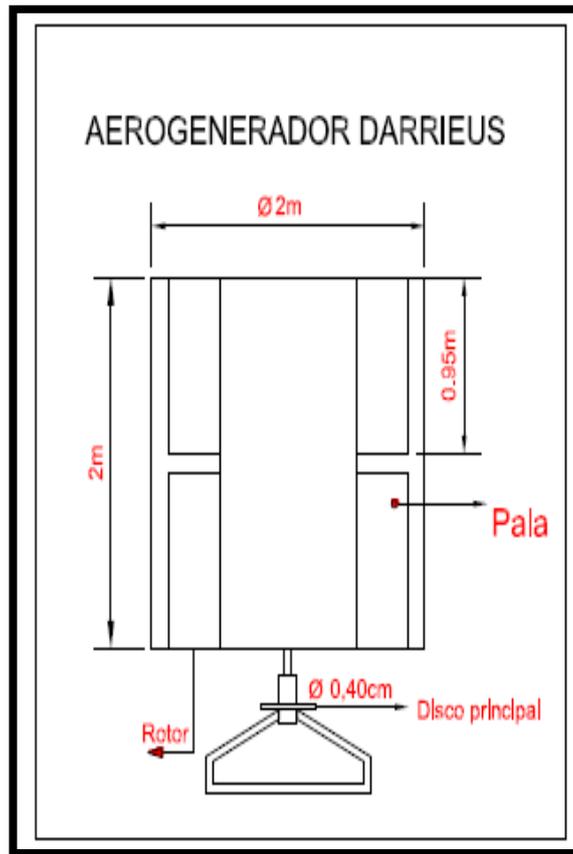


Figura 25 . Vista frontal del aerogenerador

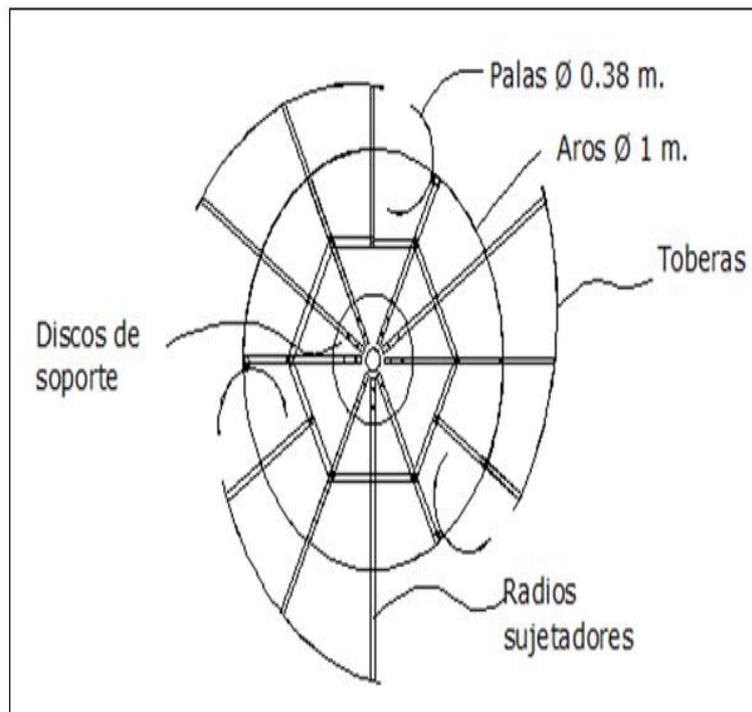


Figura 26. Vista superior del aerogenerador

Tabla 9. Cálculo de Inercia de cada uno de los elementos del Aerogenerador de eje vertical.

Ítem	Partes de la turbina.	Elementos	Masa Kg	Inercia.	Radio de giro respecto al eje.	Inercia Kgm ²
1	Tobera.	3	15,01	$I = m \times r^2$	0.9m	36.47
2	Palas.	6	5.337	$I = m \times r^2$	0.64m	13.11
3	Aspas.	3	13.212	$I = m \times r^2$	0.64m	16.23
4	Discos de soporte.	3	6.83	$I = \frac{1}{2} m \times r^2$	0.20m	0.41
5	Disco de soporte principal.	1	8.87	$I = \frac{1}{2} m \times r^2$	0.20m	0.177
6	Tubería cuadrada L= 497mm	6	0.411	$I = m \times K^2$	0.497m	0.60
7	Tubería cuadrada L= 594mm	12	0.491	$I = m \times K^2$	0.594m	2.07
8	Tubería cuadrada L= 935mm	12	0.772	$I = m \times K^2$	0.935m	8.09
9	Tubería vertical	6	0.85	$I = m \times K^2$	0.962m	4.72
10	Anillos sujetadores.	3	1.18	$I = m \times r^2$	0.652m	1.504
11	Cuerpo hexagonal	3	0.349	$I = \frac{1}{3} m \times (a^2 + b^2)$		0.402
Inercia total						83.783

Fuente: los Autores.

f.3.1.1. Cálculo de la Inercia existente en el Aerogenerador.

Para estimar la potencia total necesaria del sistema de arranque se procedió a realizar el cálculo de la inercia de cada una de las partes móviles de la turbina del aerogenerador tal como se muestra en la figura 25 y 25, también en la tabla 9 se muestra el detalle de cada uno de los elementos móviles del aerogenerador.

A continuación se procedió a realizar el cálculo de la inercia del rotor del aerogenerador. Para encontrar la inercia que hay en el generador se realizó el siguiente análisis experimental, en el cual se procedió a pesar el rotor del generador y el diámetro del mismo; dentro de este análisis cabe mencionar que se obtiene los siguientes datos:

Datos:

- Masa del rotor= 12Kg.
- Diámetro del rotor = 0.215m.

Con los datos conocidos se obtiene la inercia del elemento según la ecuación 2.

$$I_G = \frac{m r^2}{2}$$
$$I_G = \frac{(12kg) (0.1075m)^2}{2}$$
$$I_G = 0.645kgm^2$$

La inercia relativa del generador respecto al eje del aeromotor aumenta debido al rozamiento y pérdidas mecánicas existentes en el mismo, por ello se considera un rendimiento mecánico de 0.85.

$$I_{TG} = \frac{\text{Inercia del generador}}{\text{Rendimiento mecanico}}$$
$$I_{TG} = \frac{0.645kgm^2}{0.85} = 0.758kgm^2$$

Para transmitir la potencia desde el aeromotor hacia el generador, se usa una transmisión por correa con una relación de transmisión de 5 a 1 (multiplicadora); debido a ello, la inercia que existe en la transmisión del generador respecto de la turbina eólica define un cambio significativo con respecto al eje. En la figura 27 se muestra lo mencionado:

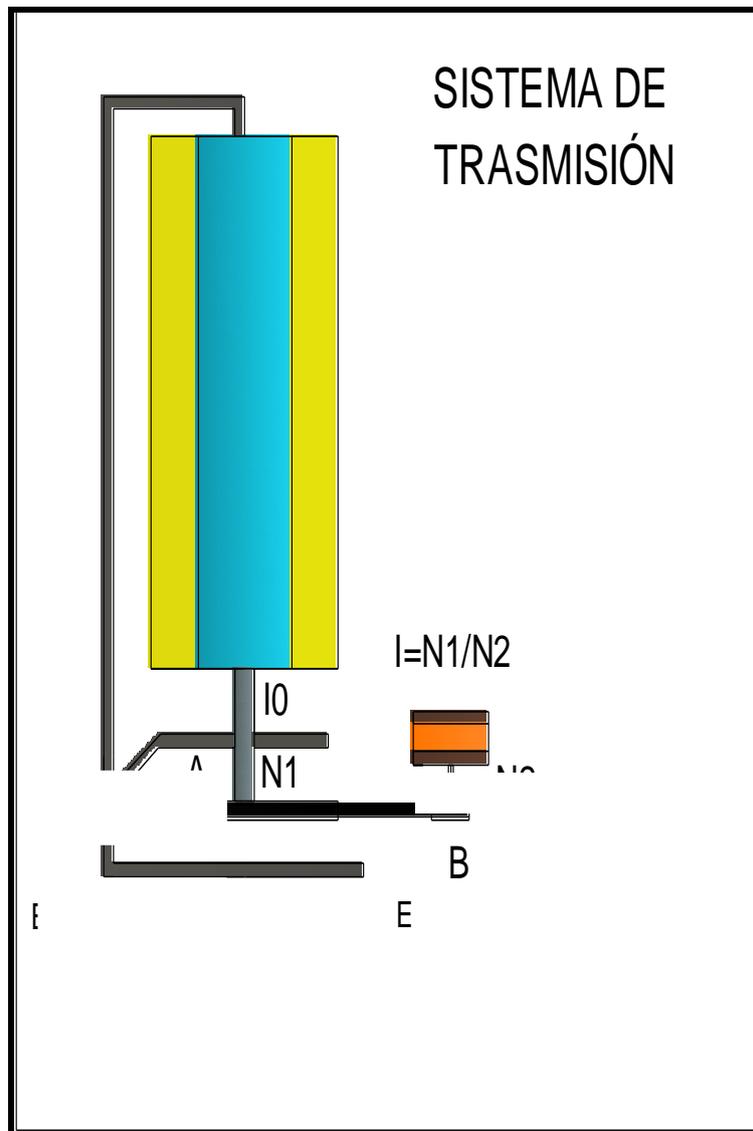


Figura 27. Aerogenerador de eje vertical con rotor tripala.

Según la ecuación 12, para encontrar la relación de transmisión se procede de la siguiente manera.

$$i = \frac{\phi \text{ conductor}}{\phi \text{ conducido}}$$

$$i = \frac{40.604cm}{7.5cm} = 5.4$$

No se debe despreciar el momento de inercia de la turbina que gira a una velocidad diferente con respecto al generador, ya que las dos partes giran a velocidades diferentes pero con una relación fija entre ambas velocidades.

Conocida la inercia del generador, y por lógica el efecto de está hacia el eje del aeromotor es:

$$I_{total} = (I_{turbina} + I_{generador} * i^2)$$

$$I_{total} = 83.783kgm^2 + \{(0.758kgm^2)(5.4)^2\}$$

$$I_{total} = 105,88kgm^2$$

f.3.1.2.Potencia requerida para el funcionamiento del sistema de arranque.

Los aerogeneradores de eje vertical con rotor tripala tienen un aprovechamiento eólico a partir de los 4m/s, pero tienen la necesidad de incorporar a su sistema un mecanismo secundario que les ayude a arrancar en dichas velocidades de viento, una vez puesto en marcha el aerogenerador es capaz de mantenerse en movimiento.

Para el cálculo de la potencia requerida por el sistema de arranque partimos de los siguientes criterios iniciales:

- Primeramente se parte de una velocidad de diseño de 6m/s la cual tiene relación a las velocidades de funcionamiento del aeromotor, se toma como referencia esta velocidad de viento ya que este es el punto idóneo para que el aeromotor se mantenga en funcionamiento a partir del arranque.
- A través de pruebas funcionales realizadas en la tesis que titula “Construcción y parametrización funcional de un prototipo de aerogenerador de eje vertical” se obtuvieron los siguientes datos tal como se muestra en la tabla 10:

Tabla10. Pruebas funcionales del aerogenerador.

Velocidad de viento en m/s	# de revoluciones en rpm	Velocidad angular rad/s	Potencia W
6,5	20	2,09	12,6
7	25	2,62	26,2
7,5	30	3,14	25,1
8,3	45	4,71	56,5
8,5	40	4,19	58,6
8,9	42	4,4	61,6
9,3	50	5,24	94,2
10	60	6,28	125,7

Fuente: "Construcción y parametrización funcional de un prototipo de aerogenerador de eje vertical".

Para el cálculo de la potencia del sistema de arranque, es necesario conocer la velocidad angular máxima de diseño del aerogenerador y el torque requerido tal como se muestra en la ecuación 11.

$$\tau = \frac{I * w}{t} .$$

Dónde:

τ = Torque en Nm

I = Inercia en kgm^2

w = Velocidad angular en rad/s

t = tiempo de arranque en seg.

$$\tau = \frac{(105,88\text{kgm}^2) \times (6,28 \frac{\text{rad}}{\text{s}})}{6\text{s}}$$

$$\tau = 110,8\text{Nm}.$$

Una vez encontrado el torque que se necesita para vencer la inercia de arranque del aerogenerador, se procede a encontrar su potencia mecánica a través de la ecuación 9; que es el trabajo que el sistema de arranque debe realizar para darle impulso al aerogenerador en un tiempo de 6 segundos cada vez que la velocidad de viento sea la adecuada.

$$P = \tau \times \omega$$

$$P = (110,8Nm) \times (6,28 \frac{rad}{s})$$

$$P = 695,95W$$

f.3.2. Prototipo 2: Cálculo de Inercia de cada uno de los elementos del Aerogenerador de eje vertical con rotor espiral tipo veleta.

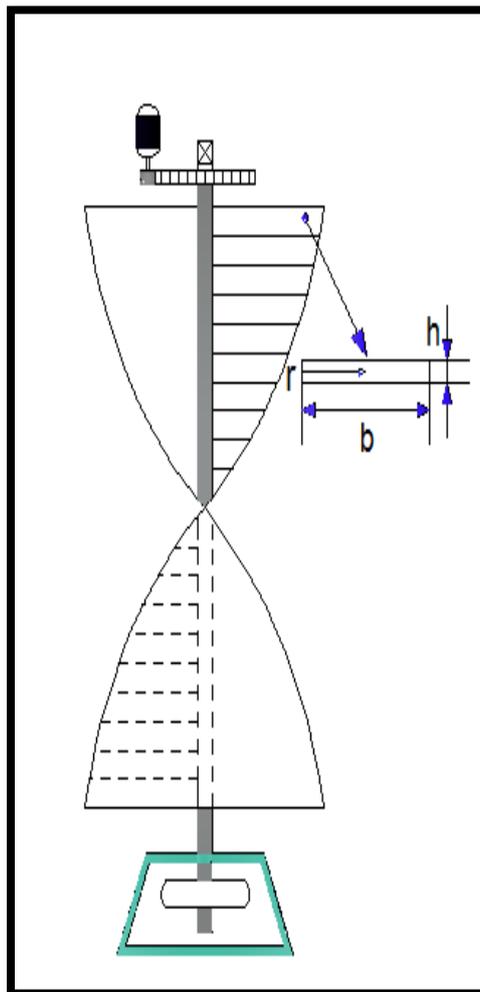


Figura 28. Vista frontal de aerogenerador con rotor espiral

Para realizar los cálculos pertinentes para el diseño del sistema de arranque se parte de los siguientes datos fundamentales proporcionados por la tesis que titula “Diseño y construcción de un aerogenerador vertical con rotor espiral tipo veleta para la obtención de energía eléctrica, a implementarse en el laboratorio de energías alternativas del AEIRNNR de la UNL.”

Características fundamentales del aerogenerador.

- ✓ Diámetro del rotor: 1m
- ✓ Altura del rotor: 2m
- ✓ Material de partes móviles del aerogenerador: Latón de hierro, acero AISI 1040.
 - $\delta_{\text{latón de hierro}}: 7870 \text{ kg/m}^3$
 - $\delta_{\text{Acero}}: 7850 \text{ kg/m}^3$
- ✓ Eje de aerogenerador
 - Material: Acero ASTM-A36
 - $T_{\text{max de diseño}}: 40,202 \text{ N} \cdot \text{m}$
 - Esfuerzo permisible = 235 MPa.

El cálculo de la inercia de la turbina con rotor espiral es complejo debido a que no tiene una figura geométrica conocida tal como se observa en la figura 28, por ello se plantea dividir en partes iguales los álabes de la turbina donde se obtiene partes rectangulares, siendo (r) la distancia desde el eje de giro hasta el centro de la masa del segmento.

Por lógica y para encontrar el área de los álabes del aerogenerador se lo dividió a este en partes iguales para luego formar el cuerpo sólido de los mismos. Se dividió cada uno de los álabes en 20 partes iguales y de cada segmento se determinó primeramente la masa y posteriormente la inercia de cada uno de los segmentos.

$$h = \frac{H}{n}$$

Dónde:

n=Numero de partes divididas del alabe(20 partes)

H= altura total del alabe.

h= altura del segmento del alabe.

$$h = \frac{2m}{20 \text{ partes}}$$

$$h = 0,1m$$

$$A = b \times h$$

$$A = 0,5m \times 0,1m = 0,05m^2$$

$$V = A \times e$$

$$V = 0,005m^2 \times 0,00078m$$

$$V = 3,9 \times 10^{-5}m^3$$

Como ya se encontró el volumen de cada segmento se procede a encontrar la masa del mismo con la ayuda de la ecuación 7 y de la siguiente manera:

$$m = V \times \delta$$

$$m = 3,9 \times 10^{-5}m^3 \times 7874Kg/m^3$$

$$m = 0,307Kg$$

Ahora se procede a calcular la inercia de cada segmento a través de la ecuación 4.

$$I_{SEGMENTO} = m \times r^2$$

$$I_{SEGMENTO} = 0,307Kg \times (0,25m)^2$$

$$I_{SEGMENTO} = 0,019kgm^2$$

Gracias a la inercia encontrada en cada segmento perteneciente a cada uno de los álabes de la turbina, se procede a calcular la inercia total mediante la sumatoria de todas ellas.

$$IT1 = I_{segmentos} \times 20 \text{ partes iguales}$$

$$IT1 = 0,019kgm^2 \times 20 \text{ partes}$$

$$IT1 = 0,3837Kgm^2$$

Debido a que la estructura del aerogenerador está compuesta por dos alabes, la inercia total entre las dos será.

$$IT = IT1 \times 2\text{álabes}$$

$$IT \text{ en los albes} = 0,7674kgm^2$$

Luego de encontrar la inercia que ofrecen los alabes al giro del aerogenerador, se procede a encontrar la inercia existente en el generador de imanes permanentes; que también forma parte del aerogenerador formando así un solo cuerpo.

Las pruebas realizadas consisten en instalar una romana en la parte donde se encuentra el generador de imanes permanentes, luego de esto aplicamos una fuerza la cual es medida por la romana, encontrando así los siguientes datos:

$$F_t = 3kgf = 29,4N$$

$$\varnothing \text{generador} = 0,4m$$

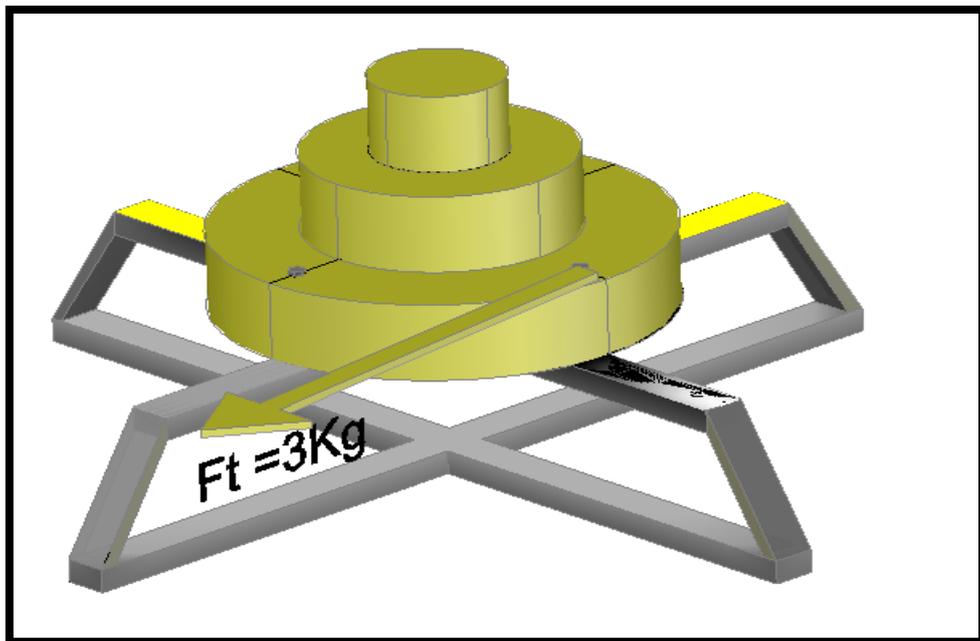


Figura 29. Detalle de generador de imanes permanentes.

Para encontrar la inercia del generador con respecto a su eje de giro se procedió a medir su radio y aplicar una fuerza según la ecuación 10.

$$F_t = \frac{\tau}{r}$$

Dónde:

τ = momento torsor Nm

F_t = Fuerza tangencial en N

$$\tau = F_t \times r$$

$$\tau = 29,4N \times 0.20m$$

$$\tau = 5,88Nm$$

A través pruebas funcionales realizadas en la tesis que titula “Diseño y construcción de un aerogenerador vertical con rotor espiral tipo veleta para la obtención de energía eléctrica, a implementarse en el laboratorio de energías alternativas del AEIRNNR de la UNL” se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 11. Pruebas funcionales del aerogenerador.

DATOS SIN CARGA. (EN VACÍO)							
Tiempo	TIEMPO f	VOLT. AC	VOLT. DC	V m/s	RPM	POTENCIA	POTENCIA
						VIENTO. W	MECÁN. W
20	25	13,5	19,1	10	114	948,0	186,0
20	25	12,05	17,0	6	90	204,8	40,2
20	25	10,05	14,211	4	80	60,7	11,9
20	25	9,3	13,150	2,5	45	14,8	2,9

Fuente: “Diseño y construcción de un aerogenerador vertical con rotor espiral tipo veleta para la obtención de energía eléctrica, a implementarse en el laboratorio de energías alternativas del AEIRNNR de la UNL”

$$w = 114 \text{ rpm} = 11,93 \text{ rad/s}$$

Con la ayuda de la ecuación 11 se procede a encontrar:

$$\tau = \frac{I \times w}{t}$$

$$\tau = \frac{0,7674kgm^2 \times 11,93rad/s}{6s}$$

$$\tau = 1,52Nm$$

Encontrado el torque que se necesita para vencer la inercia de arranque en las alabes del segundo aerogenerador se va a calcular el torque total del generador y los alabes.

$$\tau = \tau_g + \tau_{alabes}.$$

$$\tau = 1,52Nm + 5,88Nm$$

$$\tau = 7,4 Nm$$

Una vez encontrado el torque que se necesita se procede a encontrar la potencia mecánica con la ayuda de la ecuación 9 citada en el capítulo I, en un tiempo de 5 segundos cada vez que la velocidad de viento sea la adecuada.

$$P = \tau \times w$$

$$P = (7,4Nm) \times (11,93 \frac{rad}{s})$$

$$P = 88,28W .$$

f.4. Diseño y selección de los componentes del sistema de arranque para los aerogeneradores.

Teniendo la potencia mecánica que necesita para vencer la inercia de arranque de cada uno de los aerogeneradores, se encuentra la potencia eléctrica para dimensionar el motor de arranque que se necesita adquirir.

f.4.1. Cálculo y dimensionamiento del motor de arranque.

- **Potencia eléctrica de aerogenerador de eje vertical con rotor tripala.**

Como el sistema de arranque está diseñado para trabajar con una transmisión mediante rueda dentada – piñón, la cual tiene un rendimiento del 95% se dice que:

$$P_{el\acute{e}ctrica} = \frac{\text{potencia mec\acute{a}nica}}{\text{rendimiento}}$$

$$P_{el\acute{e}ctrica} = \frac{695,95W}{0,95}$$

$$P_{el\acute{e}ctrica} = 732,1W$$

Una vez encontrada la potencia el\acute{e}ctrica se procede a adquirir el motor que m\acute{a}s se acople a las necesidades, el motor adquirido es un motor de arranque el cual funciona una potencia el\acute{e}ctrica de 0.8KW en corriente continua a 12V; por seguridad y para el \acute{o}ptimo funcionamiento del sistema de arranque se adquiri\acute{o} dicho motor.

Tabla12. Datos t\acute{e}cnicos de motor de arranque.

Caracter\acute{ı}sticas t\acute{e}cnicas del motor de arranque	
Potencia en (KW)	0.8
Voltaje	12
Intensidad nominal en (A)	66.6
N\acute{u}mero de dientes	8
rpm	825

Fuente: Catalogo de motor de arranque para Suzuki Swift Chevrolet sprint

- **Potencia el\acute{e}ctrica de aerogenerador de eje vertical con rotor espiral tipo veleta.**

Como el sistema de arranque est\acute{a} dise\~{n}ado para trabajar con una trasmisi\acute{o}n mediante rueda dentada – pi\~{n}on, la cual tiene un rendimiento del 95% decimos que:

$$P_{el\acute{e}ctrica} = \frac{\text{potencia mec\acute{a}nica}}{\text{rendimiento}}$$

$$P_{el\acute{e}ctrica} = \frac{88,28W}{0,95}$$

$$P_{el\acute{e}ctrica} = 92,92W$$

Debido a la baja potencia eléctrica que requiere este aerogenerador se escogió un motor de arranque de un generador Honda Gx 340, tal como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Datos técnicos de motor de arranque.

Características técnicas del motor de arranque	
Potencia en (KW)	0.4
Voltaje	12
Intensidad nominal en (A)	33,3
Número de dientes	14
Rpm	900

Fuente: Catalogo de generadores Honda.

f.4.1.1. Diseño mecánico del sistema de transmisión angular-angular.

El sistema de transmisión más adecuado para el sistema de arranque según criterios de diseño, es un sistema de transmisión a través de rueda dentada- piñón tal como se muestra en la figura 30; el cual tiene un funcionamiento similar al sistema de arranque de los vehículos.

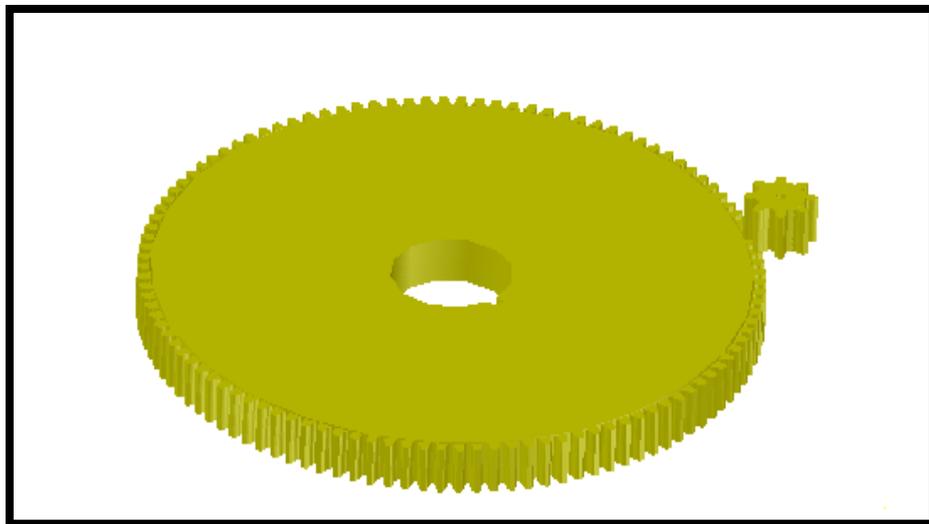


Figura 30. Transmisión angular-angular.

Y es por ello que se ha decidido implementarlo al sistema de arranque, ya que este sistema de transmisión permite acoplar y desacoplar el piñón del motor de arranque de la rueda dentada del eje de la turbina; esto se debe a que el sistema de arranque solo necesita estar acoplado durante un tiempo de 6 segundos cada vez que este sistema lo requiera.

- **Calculo del sistema de transmisión prototipo 1.**

Datos iniciales:

$$Z_{\text{RUEDA}} = 110 \text{ Dientes}$$

$$Z_{\text{PIÑON}} = 8 \text{ Dientes}$$

$$\varnothing_{\text{CONDUcido}} = 280\text{mm}$$

$$\varnothing_{\text{conductor}} = 25\text{mm}$$

$$n_{\text{MOTOR}} = 825 \text{ rev/min}$$

Primeramente se encuentra la relación de transmisión con la ayuda de la ecuación 13 ya que se tiene los datos pertinentes para su cálculo.

$$i = \frac{Z_2}{Z_1}$$

$$i = \frac{110}{8}$$

$$i = 13,75$$

Con esta relación de transmisión obtenida, se procede a encontrar la velocidad angular a la que gira el aerogenerador al darle un breve impulso.

$$w_2 = \frac{w_1}{i}$$

$$w_2 = \frac{825\text{rpm}}{13,75}$$

$$w_2 = 60\text{rpm}$$

Con esta velocidad de impulso que le imparte el sistema de arranque al aerogenerador a través del sistema de transmisión, se asegura un buen funcionamiento del mismo.

Para obtener el módulo se procederá de la siguiente manera:

Dónde:

\varnothing_1 = Diametro exterior de piñon

z = numero de dientes del piñon

$$m = \frac{\phi 1}{z + 2}$$

$$m = \frac{25mm}{8 + 2}$$

$$m = 2,5mm$$

Para encontrar las fuerzas radial y tangencial que actúan sobre un diente de los engranes se trabajó con el software RELATLAN el cual ayudó a verificar también los cálculos obtenidos como módulo y paso circular del sistema de transmisión.

Tabla 14. Características de piñon conductor.

Propiedades de la rueda dentada

CARACTERISTICAS DE LA RUEDA DENTADA

posición que ocupa en el eje mecánico : 1
dientes : 8
módulo : 2,5 mm
paso circular : 7,9 mm
ángulo de presión : 20,0 °
diámetro de la circunferencia base : 18,8 mm
diámetro de la circunferencia primitiva : 20,0 mm
diámetro exterior : 25,0 mm
diámetro interior : 13,8 mm
diámetro exterior (rueda cicloidal) : 23,4 mm
diámetro interior (rueda cicloidal) : 10,5 mm
ángulo de inclinación : 0 °
dentado en V : No
momento de inercia : 6,0239 Kg·m²
posición, coordenada X : -89,3 mm
posición, coordenada Y : 27,8 mm
longitud de la cadena :
número de eslabones en la cadena :

CARGAS

carga : 0 N·m
momento de inercia de la carga : 0 Kg·m²
resistencias pasivas : 0 N·m

FUNCIONAMIENTO

bloquear el eje
sentido de giro : horario
velocidad de giro : 825 rpm
potencia : 800 W
par : 9,2599 N·m

fuerza tangencial de un diente : 926,0 N
fuerza radial de un diente : 337,0 N
fuerza axial de un diente : 0,0 N
velocidad lineal de la cadena :

Exportar a DXF Imprimir Aceptar Cancelar

Fuente: Software RELATLAN.

Tabla 15. Características de rueda dentada conducida.

Propiedades de la rueda dentada
X

CARACTERÍSTICAS DE LA RUEDA DENTADA

posición que ocupa en el eje mecánico: 1

dientes: 110

módulo: 2,5 mm

paso circular: 7,9 mm

ángulo de presión: 20,0 °

diámetro de la circunferencia base: 258,4 mm

diámetro de la circunferencia primitiva: 275,0 mm

diámetro exterior: 280,0 mm

diámetro interior: 268,8 mm

diámetro exterior (rueda cicloidal): 282,5 mm

diámetro interior (rueda cicloidal): 267,1 mm

ángulo de inclinación: 0 °

dentado en V: No

momento de inercia: 2,1616; Kg·m²

posición, coordenada X: 52,9 mm

posición, coordenada Y: 66,9 mm

longitud de la cadena:

número de eslabones en la cadena:

CARGAS

carga: 0 N·m

momento de inercia de la carga: 0 Kg·m²

resistencias pasivas: 0 N·m

FUNCIONAMIENTO

bloquear el eje

sentido de giro: antihorario

velocidad de giro: 60 rpm

potencia: 933,4N W

par: 114,59 N·m

fuerza tangencial de un diente: 833,4 N

fuerza radial de un diente: 303,3 N

fuerza axial de un diente: 0,0 N

velocidad lineal de la cadena:

Exportar a DXF
Imprimir
Aceptar
Cancelar

Fuente: Software RELATLAN.

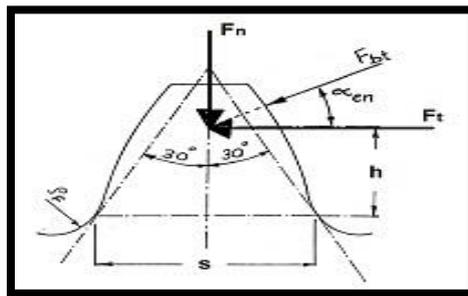


Figura 31. Fuerzas actuantes en los dientes de un engranaje

$$pd = \frac{Z_{rueda}}{D_p}$$

Dónde:

Pd= paso diametral en mm

Z= número de dientes en la rueda.

Dp= diámetro primitivo.

$$pd = \frac{110 \text{ dientes}}{275\text{mm}} = 0,4 \frac{\text{dientes}}{\text{mm}}$$

Como se mencionó anteriormente a través del software utilizado se pudo encontrar las fuerzas radial y tangencial que actúan sobre el diente de la rueda conducida obteniendo los siguientes datos:

$$**Ft = 933,4N = 95,24 Kgf**$$

$$**Fr = 303,3N = 30,95 Kgf**$$

Con estos datos obtenidos se procede a encontrar la fuerza normal que actúa sobre el diente como podemos ver en la figura 31.

$$**F_n = \frac{F_t}{\cos 20^\circ}**$$

$$**F_n = \frac{933,4N}{\cos 20^\circ}**$$

$$**F_n = 993,3 N**$$

$$**F_n = 101,35 Kgf.**$$

La rueda dentada está construida de Acero SAE 2320 endurecido en la superficie, con lo cual de acuerdo a la norma AGMA el esfuerzo admisible al que puede estar sometido el material es de 344,73MPa. Para verificar que el esfuerzo máximo al que está sometido el material de la rueda es menor al esfuerzo admisible que soporta el material se procede a encontrar el esfuerzo flexionante del engranaje con la ayuda de la ecuación 15.

$$\sigma_f = Ft \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot \frac{P_d \cdot K_m \cdot K_b}{F \cdot J}$$

Todos los factores nos ayudan para una mejor estimación del valor de la resistencia flexionante del material con el que está fabricado el engranaje según la norma AGMA.

Datos obtenidos:

$$**K_o = 1,35**$$

$$**K_v = 3 - 5**$$

$$Ks = 1$$

$$Kb = 1$$

$$Km = 1,6$$

$$J = 0,45$$

$$Ft = 95,24kgf$$

$$F = 2,54cm$$

$$\sigma_f = 95,24kg \times 1,35 \times 3 \times 1 \cdot \frac{4dientes/cm \times 1,6 \times 1}{2,54cm \times 0,45}$$

$$\sigma_f = 2194,33 \frac{kg}{cm^2} = 215,19MPa < 344,73 Mpa \text{ esfuerzo permisible.}$$

- **Calculo del sistema de transmisión prototipo 2.**

Datos iniciales:

$$Z_{RUEDA} = 99 \text{ Dientes}$$

$$Z_{PIÑON} = 14 \text{ Dientes}$$

$$\emptyset_{CONDUCIDO} = 161,6mm$$

$$\emptyset_{conductor} = 25mm$$

$$n_{MOTOR} = 900 \text{ rev/min}$$

Primeramente partimos encontrando la relación de trasmisión con la ayuda de la ecuación 13, ya que tenemos los datos pertinentes para su cálculo.

$$i = \frac{Z2}{Z1} =$$

$$i = \frac{99}{14}$$

$$i = 7,07$$

Con esta relación de transmisión obtenida, pasamos a encontrar la velocidad angular a la que gira el aerogenerador al darle un breve impulso.

$$w2 = \frac{w1}{i}$$

$$w2 = \frac{900rpm}{7,07}$$

$$w2 = 127rpm$$

Con esta velocidad de impulso que le imparte nuestro sistema de arranque al aerogenerador a través del sistema de transmisión, podemos asegurar un buen funcionamiento del mismo.

Para obtener el módulo se procederá de la siguiente manera:

Dónde:

$\varnothing 2$ = Diametro exterior de la rueda

z = numero de dientes de la rueda.

$$m = \frac{\varnothing 2}{z + 2}$$

$$m = \frac{161,6mm}{99 + 2}$$

$$m = 1,6mm$$

Para encontrar las fuerzas radial y tangencial que actúan sobre un diente de los engranes nos basamos a través del software RELATRAN el cual nos ayudó a verificar también los cálculos obtenidos como módulo y paso circular del sistema de transmisión

Tabla 16. Características del piñón conductor

Propiedades de la rueda dentada

CARACTERISTICAS DE LA RUEDA DENTADA	CARGAS
posición que ocupa en el eje mecánico: 1	carga: 0 N·m
dientes: 14	momento de inercia de la carga: 0 Kg·m ²
módulo: 1,6 mm	resistencias pasivas: 0 N·m
paso circular: 5,0 mm	
ángulo de presión: 20,0 °	FUNCIONAMIENTO
diámetro de la circunferencia base: 21,0 mm	<input type="checkbox"/> bloquear el eje
diámetro de la circunferencia primitiva: 22,4 mm	sentido de giro: horario
diámetro exterior: 25,6 mm	velocidad de giro: 900 rpm
diámetro interior: 18,4 mm	potencia: 400 W
diámetro exterior (rueda cicloidal): 24,4 mm	par: 4,2441 N·m
diámetro interior (rueda cicloidal): 15,3 mm	fuerza tangencial de un diente: 378,9 N
ángulo de inclinación: 0 °	fuerza radial de un diente: 137,9 N
dentado en V: No	fuerza axial de un diente: 0,0 N
momento de inercia: 9,4923 Kg·m ²	velocidad lineal de la cadena:
posición, coordenada X: -74,0 mm	
posición, coordenada Y: 32,6 mm	
longitud de la cadena:	
número de eslabones en la cadena:	

Exportar a DXF Imprimir Aceptar Cancelar

Fuente. Software RELATRAN.

Tabla 17. Datos característicos de la rueda dentada conducida

CARACTERÍSTICAS DE LA RUEDA DENTADA		CARGAS	
posición que ocupa en el eje mecánico :	1	carga :	0 N·m
dientes :	99	momento de inercia de la carga :	0 Kg·m ²
módulo :	1,6 mm	resistencias pasivas :	0 N·m
paso circular :	5,0 mm		
ángulo de presión :	20,0 °	FUNCIONAMIENTO	
diámetro de la circunferencia base :	148,8 mm	<input type="checkbox"/> bloquear el eje	
diámetro de la circunferencia primitiva :	158,4 mm	sentido de giro :	antihorario
diámetro exterior :	161,6 mm	velocidad de giro :	127,27 rpm
diámetro interior :	154,4 mm	potencia :	360 W
diámetro exterior (rueda cicloidal) :	164,2 mm	par :	27,010 N·m
diámetro interior (rueda cicloidal) :	153,4 mm	fuerza tangencial de un diente :	341,0 N
ángulo de inclinación :	0 °	fuerza radial de un diente :	124,1 N
dentado en V :	No	fuerza axial de un diente :	0,0 N
momento de inercia :	2,3794 Kg·m ²	velocidad lineal de la cadena :	
posición, coordenada X :	-164,4 mm		
posición, coordenada Y :	32,6 mm		
longitud de la cadena :			
número de eslabones en la cadena :			

Exportar a DXF Imprimir Aceptar Cancelar

Fuente: Software RELATRAM

El software RELATRAM nos indica que el motor de arranque adquirido está en capacidad de vencer una inercia de arranque de 27 Nm, puesto que en nuestro sistema de arranque necesitamos un torque máximo de 7,4 Nm procedemos a calcular las fuerzas radial y tangencial que va a soportar los dientes de la rueda dentada.

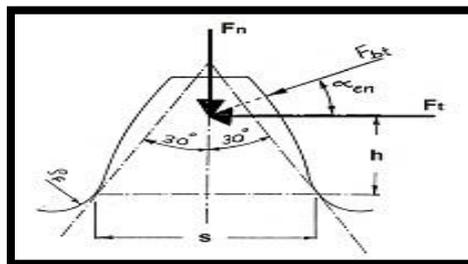


Figura 32. Fuerzas actuantes en los dientes de un engranaje

$$pd = \frac{Z_{rueda}}{D_p}$$

Dónde:

Pd= paso diametral en mm

Z= número de dientes en la rueda.

Dp= diámetro primitivo.

$$pd = \frac{99 \text{ dientes}}{158,4 \text{ mm}} = 0,625 \frac{\text{dientes}}{\text{mm}}$$

$$Ft = \frac{\tau}{rp}$$

Dónde:

Ft: Fuerza tangencial

τ : Torque.

rp: radio primitivo.

$$Ft = \frac{7,04Nm}{0,0792m}$$

$$Ft = 98,88N$$

Teniendo la fuerza tangencial procedemos a encontrar la fuerza radial.

$$Fr = Ft \tan \theta$$

$$Fr = 98,8N \tan 20^\circ$$

$$Fr = 32,35N$$

Con estos datos obtenidos se procede a encontrar la fuerza normal que actúa sobre el diente.

$$Fn = \frac{Ft}{\cos 20^\circ}$$

$$Fn = \frac{98,88N}{\cos 20^\circ}$$

$$Fn = 105,22N$$

La rueda dentada está construida de Acero SAE 2320 endurecido en la superficie, con lo cual de acuerdo a la norma AGMA el esfuerzo admisible al que puede estar sometido el material es de 344,73MPa.

Para verificar que el esfuerzo máximo al que está sometido el material de la rueda es menor al esfuerzo admisible que soporta el material se procede a encontrar el esfuerzo flexionante del engranaje con la ayuda de la ecuación 15.

$$\sigma_f = Ft \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot \frac{P_d \cdot K_m \cdot K_b}{F \cdot J}$$

Todos los factores nos ayudan para una mejor estimación del valor de la resistencia flexionante del material con el que está fabricado el engranaje según la norma AGMA.

Datos obtenidos:

$$K_o = 1,35$$

$$K_v = 3 - 5$$

$$K_s = 1$$

$$K_b = 1$$

$$K_m = 1,6$$

$$J = 0,45$$

$$F_t = 10,08kgf$$

$$F = 1,6cm$$

$$\sigma_f = 10,08kg \times 1,35 \times 3 \times 1 \cdot \frac{6diente/cm \times 1,6 \times 1}{1,6cm \times 0,45}$$

$$\sigma_f = 544,31 \frac{kg}{cm^2} = 53,34MPa < 344,73MPa \text{ esfuerzo admisible}$$

f.5. Selección de los elementos para el circuito de control del sistema de arranque.

Para la selección de los elementos de control del sistema de arranque se consideró un aspecto fundamental, el cual consta de un sistema de transmisión angular-angular a través de rueda dentada piñón; este sistema de transmisión consta principalmente de un motor de arranque de automóviles ya que estos motores tienen la facilidad de conexión y desconexión del piñón que viene incluido en el motor, del volante de inercia que se lo ha incluido al aerogenerador, estos motores trabajan a una tensión nominal de 12V dc y es por ello que vamos a utilizar relés de potencia para permitir el paso de corrientes mayores de 50A, además de que tienen dos contactos auxiliares NC-NA tal como se muestra en la figura 20.

Y para la activación de los motores de arranque se va a utilizar los relés de potencia de la serie 006, ya que estos dispositivos se encargan de conectar y desconectar la energía eléctrica de los dispositivos de alta corriente.

Para captar las velocidades de viento que existe en el sector se utilizó un anemómetro de copas 4403 tal como se muestra en la figura 13, los cuales son muy resistentes para ser ubicados a la intemperie además de que a este anemómetro se lo puede comunicar a un

autómata programable (PLC), y a otros sistemas para poder visualizar la velocidad del viento y por ello permite activar alarmas prefijadas.

Para registrar los datos obtenidos por el anemómetro se consideró al mini PLC EASY de 12V dc, se escogió este autómata programable porque tiene entradas de frecuencia ya que el anemómetro 4403 envía señales de frecuencia.

f.5.1 Descripción de cada uno de los elementos que conforman al sistema de arranque.

Como se observa en la figura 32, el sistema de control consta de los siguientes elementos:



Figura 32. Elementos de control y de fuerza que conforman el sistema de arranque.

- ✓ Un Anemometro de copas de tipo Anemo 4403.
- ✓ 3 reles de potencia con dos contactos NC,NA de de tipo bosh de 50A.
- ✓ 2 reles de potencia o (zocalo) de la serie 006 para maximas potencias.
- ✓ 1 mini plc EASY ELC – HMI-12DC-DA-R.

- ✓ 1 breaker bipolar de 16A
- ✓ 1 selector de dos posiciones on-off.
- ✓ 1 selector de tres posiciones on-off-on.
- ✓ 2 luces pilotos de 12VDC.
- ✓ 1 caja de doble fondo de 40×40.

f. 5.2 Requerimientos fundamentales para armar la caja de control del sistema de arranque.

Para determinar los requerimientos primero se establecerá el orden que se necesita para la realización de dicho proceso.

1. Alimentamos el sistema de arranque activando el breaker que permite la conexión entre los paneles y la batería.
2. Se activará el selector de dos posiciones on – off para la activación del mini PLC.
3. Con el selector de tres posiciones se seleccionara a que generador se lo desea hacer funcionar.
4. El sistema se encuentra en espera de la señal del anemómetro registrando continuamente un alcance de velocidad nominal de 4 m/s, ya que esta velocidad es aprovechable para la generación de energía eléctrica.
5. Cuando el anemómetro de copas registre un valor de velocidad máxima el PLC lo registra durante unos segundos e inmediatamente activa la señal de salida de los diferentes relés de seleccionamiento, en estas circunstancias se activa el relé de carga de la batería desconectando los paneles solares de la batería que funciona solo para el circuito de fuerza, pero la batería de control seguirá conectada a los paneles solares para que todo lo que es control siga alimentado, para luego de un segundo activar los relés de mando que acciona el motor de arranque seleccionado el tiempo establecido del motor de arranque que es de 6 segundos.
6. Luego del proceso antes mencionado se desactiva y realiza un conteo interno de un minuto donde nuevamente la señal que registra el anemómetro activa el sistema de arranque.

7. Por ultimo cabe mencionar que si la velocidad del viento es alta y con una duración menor a un segundo no activará el sistema, ya que según nuestro criterio es considerado como ráfaga.

Como ya se determinó los requerimientos del sistema de control se procede a realizar los circuitos de fuerza y de mando del sistema de arranque.

f.5.3 Circuito de fuerza del sistema de arranque.

Como se explicó anteriormente el sistema de energía será autónomo por medio de paneles solares que alimentarán las dos baterías del sistema de arranque, como se puede observar en el circuito de fuerza de la figura 33.

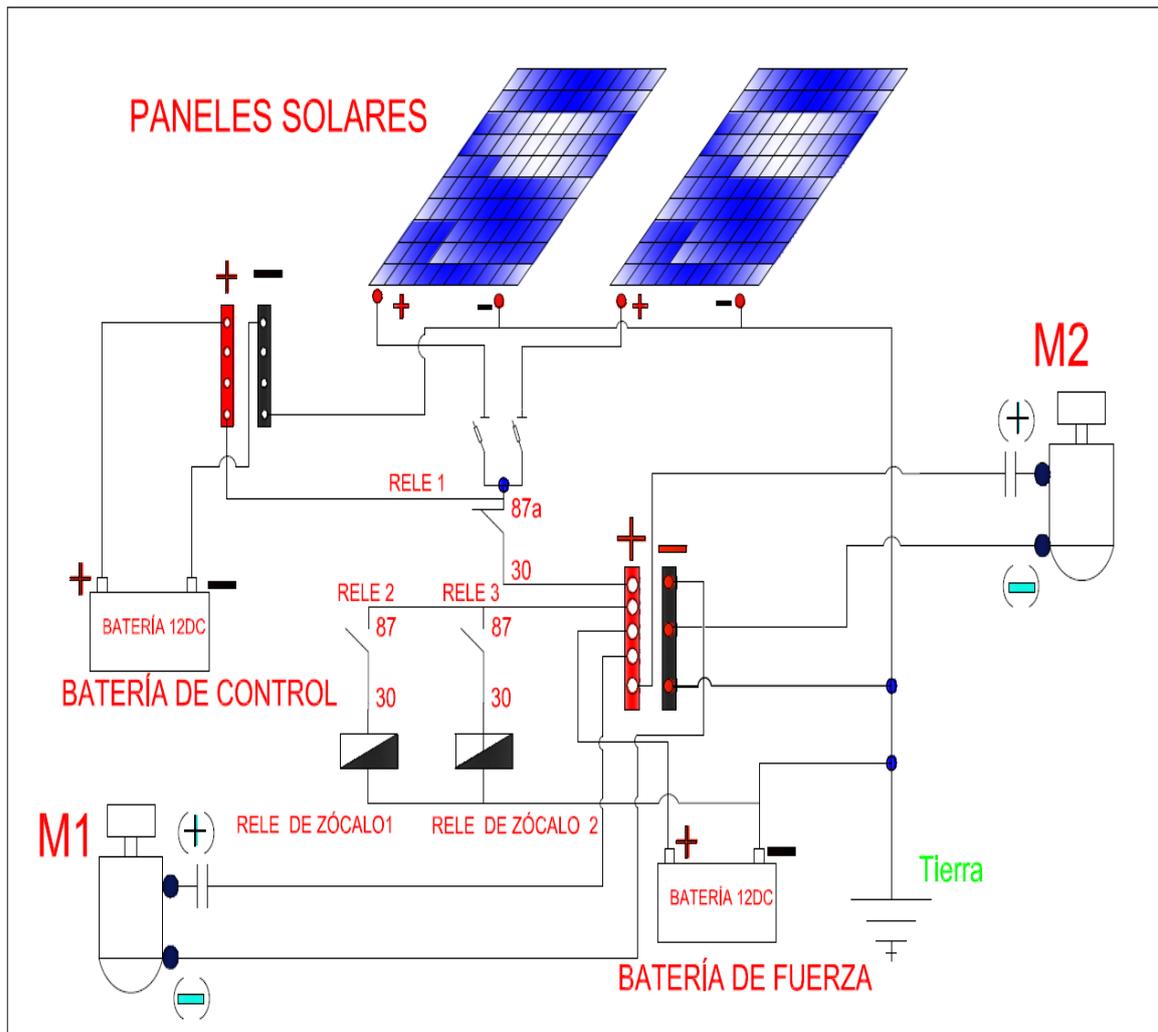


Figura 33. Circuito de fuerza.

El relé 1 sirve para la protección de los equipos de mando ya que cuando el anemómetro manda la señal al mini PLC para que se activen los motores de arranque estos consumen mucha corriente que pueden dañar al PLC, al anemómetro, a los paneles solares y a los relés de control.

Como se puede observar en el circuito de mando de la figura 34 el primer par de barras será para el sistema de control, el segundo par de barra será para la alimentación de los motores de arranque.

f.5.4 Circuito de mando del sistema de arranque.

En el circuito de control se puede observar un selector de dos posiciones on-off que sirve para la activación del PLC tal como se muestra en la figura 34.

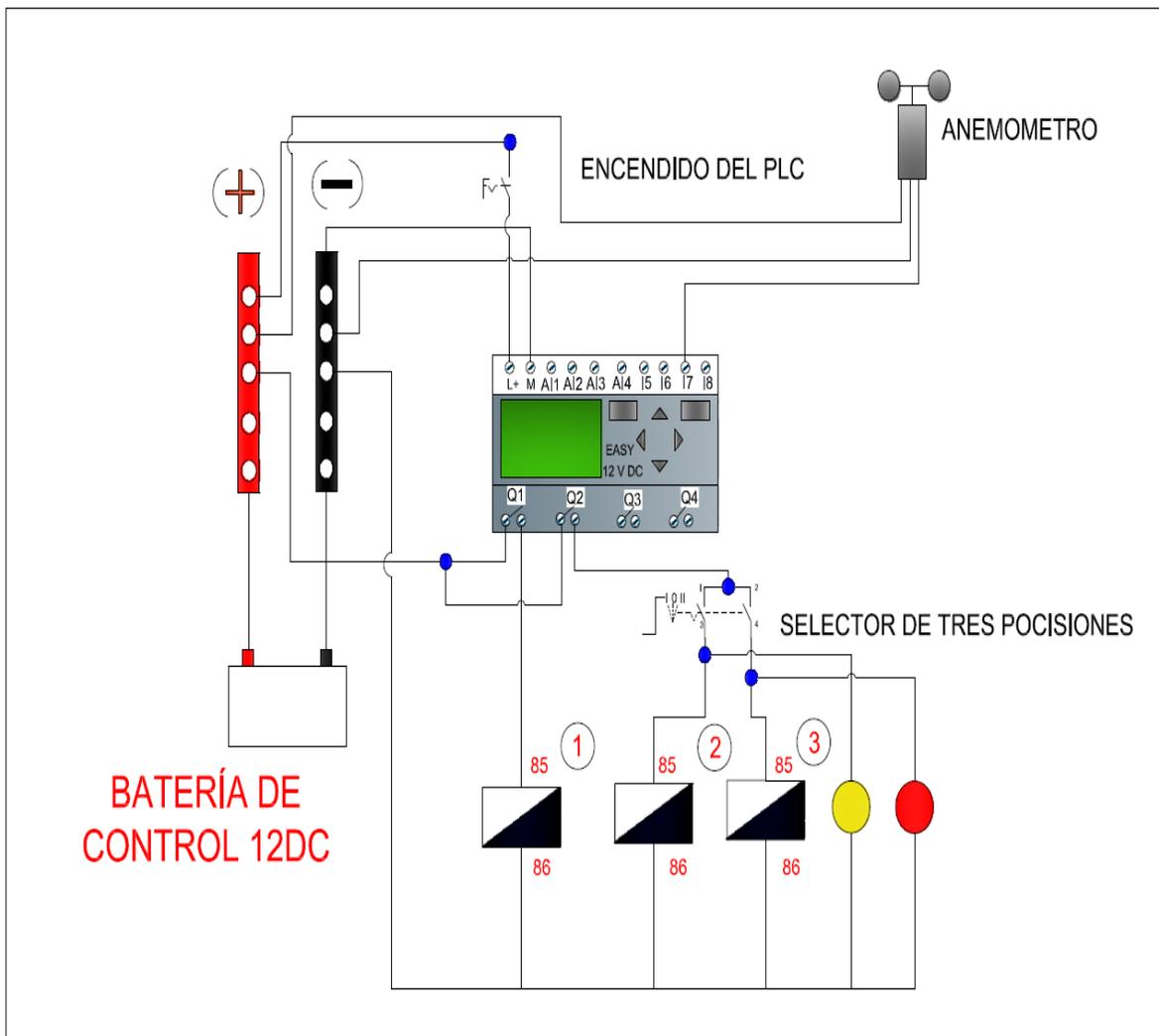


Figura 34. Circuito de mando

La entrada de señal del anemómetro se la ubicó en la entrada I7 del PLC ya que estas son entradas de pulsos rápidos para la activación del relé 1, el cual sirve para desconectar los paneles solares de las baterías.

Q1 y Q2 son salidas de señal la cuales nos sirven para la activación de los relés que envían la señal hacia los motores eléctricos por medio de un selector de tres posiciones, el cual nos permitirá escoger el prototipo de aerogenerador que trabajará en ese instante.

Como podemos observar también hay dos luces piloto que permitirán visualizar el funcionamiento de los aerogeneradores.

f.5.5 Programación del sistema de arranque a través del programa XLogicsoft.

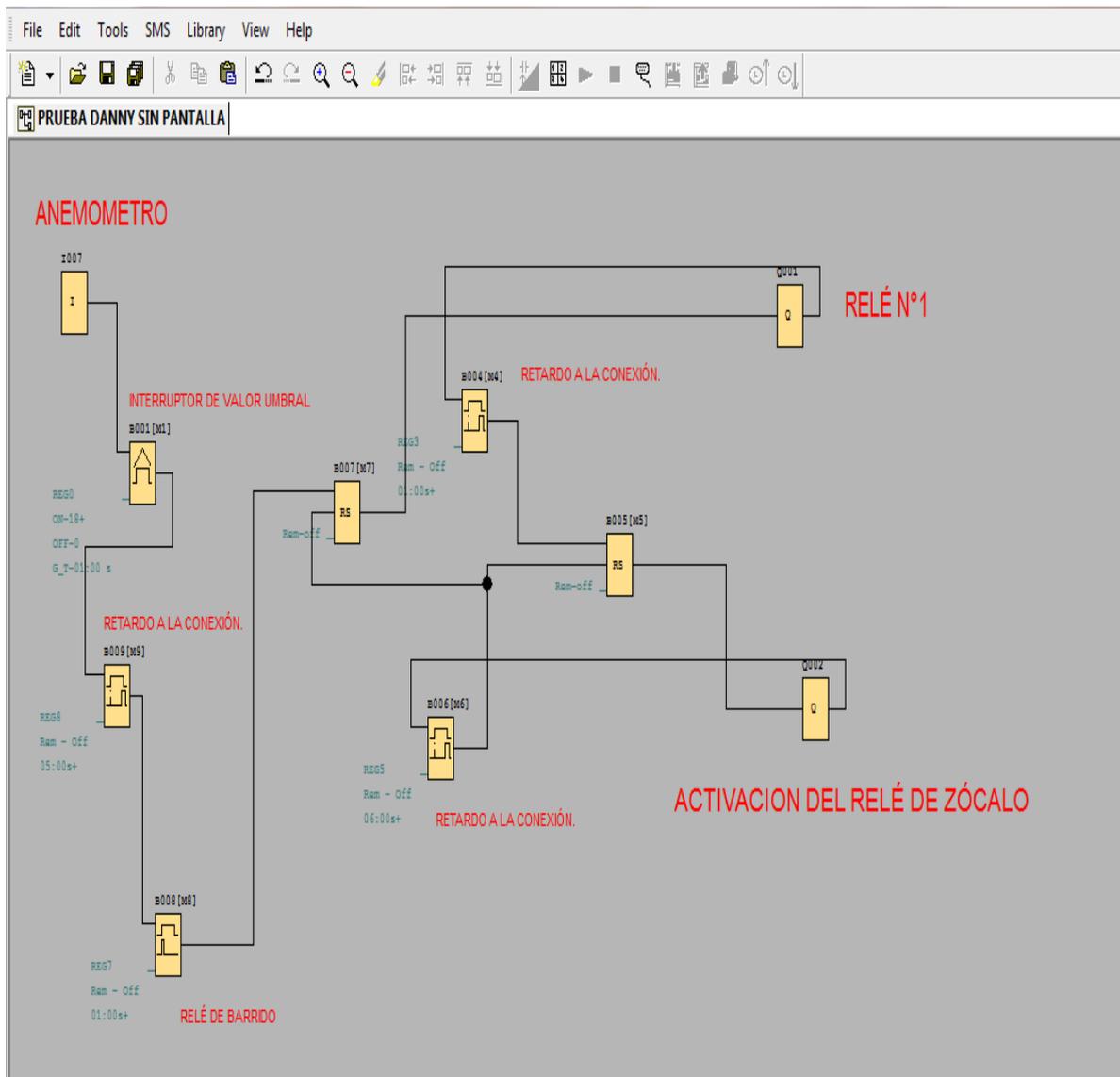


Figura 35. Programación del sistema de arranque.

Para la programación del PLC se lo realizo en diagrama de bloques con la cual se procede a detallar las funciones utilizadas para la programación del sistema de arranque.



Aquí tenemos I7 es la entrada en la que se conectó el anemómetro de copas ya que en el PLC EASY de 12V dc esta entrada es para entradas de frecuencia rápidas.



El umbral de disparo nos mide la señal de entrada de frecuencia del anemómetro ya la relación velocidad del viento –salida resulta de multiplicar la velocidad de viento en Km/h por 1.05 para obtener la salida en hercios (impulsos en un segundo), si la velocidad del viento es de 0Km/h la salida será de 0Hz con una velocidad de 100Km/h da una salida de 105Hz y es por esto que se utilizó esta función especial.

Como el sistema de arranque va a funcionar con velocidades de viento igual a 4m/s, entonces la señal de frecuencia va a ser la siguiente.

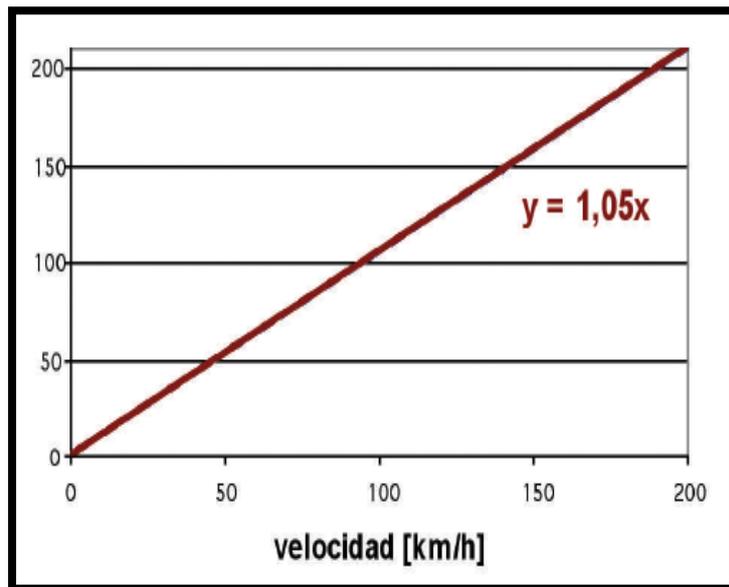


Figura 36. Grafica de relación entre velocidad del viento y señales de frecuencia

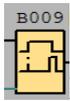
$$4m/s = 14.4Km/h$$

$$y = 1.05(14.4Km/h)$$

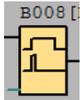
$$y = 1.05(14.4Km/h)$$

$$y = 15.12Hz.$$

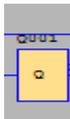
Entonces cuando el anemómetro envíe una señal de frecuencia de 15.12Hz se activa el sistema de arranque de los aerogeneradores.



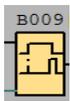
Este relé temporizador cumple la función de enviar una señal de salida al PLC cuando el anemómetro capte una velocidad de viento de 4m/s en un tiempo constante igual o mayor a 5s, caso contrario se considera la velocidad de viento como una ráfaga.



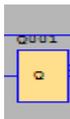
Al relé de barrido lo aplicamos para que de un pulso de un segundo al RS y luego desactive a las demás funciones especiales para luego esperar otra señal de frecuencia apropiada para la activación del sistema.



La salida Q1 es para la activación del relé 1 que es para la protección del sistema de control y de los paneles solares.



Utilizamos otro retardo a la conexión para cuando se active Q1 su tiempo de activación va hacer de 1 segundo para luego desactivarse Q1.



La salida de Q2 es para la activación de las bobinas de los dos relés, para la activación de los relés de zócalo que son los encargados de energizar los motores de arranque.

f.6.Diseño del sistema fotovoltaico y control para los aerogeneradores.

f.6.1. Dimensionamiento del sistema.

El sistema de arranque se accionará en promedio máximo de unas 30 veces al día durante un tiempo de 6 segundos, el sistema de control estará conformado por un sistema de adquisición de datos a través de un mini PLC EASY; el cual enviará una señal de pulsos indicando que la velocidad de viento es la adecuada para que a su vez se enclave la bobina

del relé cerrando el circuito y enviando una señal para que encienda el sistema de arranque. Esto basado en que la velocidad aprovechable para generación eléctrica será mayor o igual a 4m/s.

Encontradas las potencias eléctricas requeridas por cada uno de los aerogeneradores se procede a dimensionar el sistema fotovoltaico de potencia, basado en la potencia requerida por el motor de arranque, que es el que va a vencer la inercia de arranque de los aerogeneradores para su futura generación de energía.

De esta manera se garantiza el óptimo funcionamiento de los dos generadores emplazados en el parque eólico del área de energía, tomando en cuenta de que el sistema de control está conformado por un selector de tres posiciones; el cual enviara la señal de funcionamiento para que trabaje un aerogenerador a la vez.

f.6.1.1 Cálculo de la Energía diaria consumida por los motores de arranque.

Para realizar el siguiente cálculo primeramente se consideró en el consumo de corriente de los motores de arranque, como su consumo de corriente es demasiado alto, lo cual puede perjudicar al sistema de mando y control que componen el sistema de arranque; se procedió a calcular las corrientes de consumo del sistema de mando y fuerza independientemente.

La potencia de trabajo en vacío de los motores de arranque es de 0.8kW con una corriente de consumo de 65A, durante las pruebas de funcionamiento con carga se comprobó que los motores de arranque consumen una corriente de alrededor de tres veces mayor su corriente nominal, con lo cual se obtuvieron los siguientes datos:

I motor con carga= 200A

V= 12Vcd

Con los datos de consumo obtenidos se calcula la potencia real de consumo de los motores de arranque.

$$P = V \times I$$

$$P = 200A \times 12V$$

$$P = 2400W$$

$$\text{Energía diaria} = \sum \text{equipos} \times P_{\text{equipo}} \times \text{horas de uso}$$

$$\text{Energía diaria} = 1 \times 2400w \times 0,05h$$

$$\text{Energía diaria} = 120whd$$

f.6.1.2 Cálculo de la energía útil.

Al valor de la potencia horas día de la instalación hay que incrementar un 20% como margen de seguridad, tal como nos muestra la ecuación 18, lo que es lo mismo, multiplicarla por 1.2 para obtener un valor más realista que se conoce como necesidad del usuario.

$$Eu = Pd \times 1.2$$

$$Eu = 120Whd \times 1.2 (\text{factor de seguridad})$$

$$Eu = 144Whd$$

f.6.1.3 Cálculo del coeficiente de pérdidas totales de la instalación KT

Para obtener el consumo máximo, hay que tener en cuenta las pérdidas totales KT. Para calcular las pérdidas hace falta conocer los días de autonomía y los coeficientes de pérdidas del sistema tal como lo muestra la ecuación 19.

$$KT = [1 - (KB + KC + KR + KX)] \times \left[1 - \frac{(KA \times AUT)}{PD} \right]$$

En el sistema fotovoltaico no se necesitó un convertidor de voltaje de Vac a Vdc ya que instalaremos equipos de 12V por lo tanto no vamos a considerar KC.

$$KT = [1 - (0.05 + 0.1 + 0.05)] \times \left[1 - \frac{(0.005 \times 3)}{0.65} \right]$$

$$KT = (0.8) \times (0.976)$$

$$KT = 0.732$$

f.6.1.4 Cálculo del consumo máximo del circuito de fuerza.

Encontradas las pérdidas totales de la instalación se encuentra el consumo máximo que debe proporcionar los paneles tal como se muestra en la ecuación 20.

$$C_{max} = EU/KT$$

$$C_{max} = \frac{144Whd}{0.732}$$

$$C_{max} = 196,72Whd.$$

f.6.1.5 Cálculo de la corriente máxima consumida por el sistema.

Como se encontró la carga máxima se asume un voltaje de 12V cd debido a que las condiciones de trabajo para el sistema de arranque son a 12 voltios cd, por ende y según la ecuación 21 la corriente máxima va hacer la siguiente.

$$I_{max} = \frac{C_{max}}{12V}$$

$$I_{max} = \frac{196,72Whd}{12V}$$

$$I_{max} = 16,39 Ahd$$

f.6.1.6 Capacidad del acumulador o baterías en el circuito de fuerza.

$$C_{max} = \frac{C_{max} * dias de autonomia}{profundidad de descarga de la bateria.}$$

$$C_{max} = \frac{16,39Ahd * 3}{0,65}$$

$$C_{max} = 75,64Ahd$$

Tabla 18. Datos característicos de batería.

Marca de la batería.	Descripción	figura
CAPSA 100Ah/12V	Batería de ciclo profundo 100Ah 12v dc	

FUENTE: Datos de características de la batería.

El número de baterías necesarias se calcula según la carga necesitada para abastecer el sistema.

$$\# \text{ de baterías en paralelo} = \frac{C \text{ nominal}}{c \text{ bateria}}$$

$$\# \text{ de baterías en paralelo} = \frac{75,64Ah}{100Ah} = 0,75 \cong 1 \text{ bateria}$$

f.6.1.7 Cálculo de la energía que consumen los elementos que conforman el tablero de control.

Debido a que el sistema de mando y control es el que envía la señal al sistema de arranque para su funcionamiento, éste deberá estar funcionando las 24 horas del día para que de esa manera se pueda captar las ráfagas de viento que oscilan entre los 4 y 10 m/s durante el día y la noche.

Tabla 20. Consumo de potencia requerida por el sistema de control

CONSUMO DE POTENCIA REQUERIDA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO					
ITEM	EQUIPO	UNIDAD	POTENCIA (W)	CONSUMO DIARIO.	CONSUMO (Whd)
1	PLC easy	1	3,6	24h	86,4
2	ANEMOMETRO	1	0,018	24h	0,432
3	RELE DE POTENCIA	3	1,6	0,05h	0,24
4	RELE DE POTENCIA 006	2	1,6	0,05h	0,16
5	LUZ PILOTO	2	3	0,05h	0,3
TOTAL					87,5

Fuente: Los autores.

$$\text{Energía diaria} = 87,5 \text{ whd}$$

f.6.1.8. Cálculo de la Energía útil.

A el valor de la energía de consumo de la instalación hay que incrementar un 20% como margen de seguridad tal como nos muestra la ecuación 18 citada en el capítulo IV, lo que es lo mismo, multiplicarla por 1.2 para obtener un valor más realista que llamamos necesidades del usuario.

$$Eu = Pd \times 1.2$$

$$Eu = 87,5Whd \times 1.2(\text{factor de seguridad})$$

$$Eu = 105Whd$$

f.6.1.9. Cálculo del coeficiente de pérdidas totales de la instalación KT

Para obtener el consumo máximo, hay que tener en cuenta las pérdidas totales KT. Para calcular las pérdidas hace falta conocer los días de autonomía y los coeficientes de pérdidas del sistema tal como se muestra en la ecuación 19 citada en el capítulo IV.

$$KT = [1 - (KB + KC + KR + KX)] \times \left[1 - \frac{(KA \times AUT)}{PD} \right]$$

En el sistema fotovoltaico no se va a tener un convertidor de voltaje de Vac a Vdc ya que se instalarán equipos de 12V por lo tanto no se va a considerar KC.

$$KT = [1 - (0.05 + 0.1 + 0.05)] \times \left[1 - \frac{(0.005 \times 3)}{0.65} \right]$$

$$KT = (0.8) \times (0.976)$$

$$KT = 0.732$$

f.6.2 Cálculo del consumo en el circuito de mando.

Encontradas las pérdidas totales de la instalación se va a encontrar el consumo máximo que debe proporcionar los paneles según la ecuación 20.

$$Cmax = EU/KT$$

$$C_{max} = \frac{105Whd}{0.732}$$

$$C_{max} = 143,44Whd.$$

f.6.2.1 Cálculo de la corriente máxima consumida por el circuito de mando.

Como se encontró la carga máxima se va a asumir un voltaje de 12V cd debido a que las condiciones de trabajo para el sistema de arranque son a 12 voltios cd, por ende la corriente máxima según la ecuación 21 va hacer la siguiente.

$$I_{max} = \frac{C_{max}}{12V}$$

$$I_{max} = \frac{143,44Whd}{12V}$$

$$I_{max} = 11,95 Ahd$$

f.6.2.2 Capacidad del acumulador o baterías para el circuito de mando.

Según la ecuación 24 citada en el capítulo IV esta es:

$$C_{max} = \frac{C_{max} * dias de autonomia}{profundidad de descarga de la bateria.}$$

$$C_{max} = \frac{11,95Ahd * 3}{0,65}$$

$$C_{max} = 55,17Ahd$$

Tabla 21. Datos característicos de batería.

Marca de la batería.	Descripción	figura
CAPSA 55Ah/12V	Batería de ciclo profundo 55Ah 12v dc	

FUENTE: Datos de características de la batería.

El número de baterías necesarias se calcula según la carga necesitada para abastecer el

sistema.

$$N \text{ paralelo baterias} = \frac{C \text{ nominal}}{c \text{ bateria}}$$

$$N \text{ paralelo baterias} = \frac{55,17Ah}{55Ah} = 1 \text{ bateria}$$

De lo cual se puede decir que se necesitó una batería de 12Vdc de 45Ah.

f.6.3 Cálculo de la energía del panel.

Una vez encontrado el valor de energía real máxima que va a consumir la instalación, es necesario conocer los datos de radiación incidente y las características del módulo que se va a utilizar.

Para poder obtener la carga real máxima y dimensionar los paneles fotovoltaicos por lógica se procedió a sumar: la carga real máxima tanto del sistema de mando como también el de fuerza.

$$C_{max} = 196,72whd + 143,44 whd$$

$$C_{max} = 340,16 whd$$

Tabla 22. Datos técnicos de panel solar.

DATOS TÉCNICOS DEL PANEL SOLAR EXMORK DE 100WP		
ITEM	CARACTERÍSTICAS	Datos técnicos
1	Tipo	100Wp 12 V
2	Material	Si - poli cristalino
3	Modelo	100P
4	Medidas(mm)	1130X670X35
5	Voltaje Max Voc	22V+/-0.5V
6	Voltaje MppVmpp	17.5V +/-0.5V
7	Corriente Max Isc	6.14A +/-0.1 ^a
8	Corriente MppImpp	5.71A +/-0.1 ^a
9	Variación de potencia	3%
10	Voltaje max en serie	600V
11	Rendimiento	0.7%

Fuente: <http://spanish.alibaba.com>

$$E_p = P_p \times H_{ps} \times \eta_p.$$

$$Ep = 100Wp \times 4,11 \times 0,7.$$

$$Ep = 287,7Whd$$

f.6.3.1 Cálculo de número de paneles.

Según la ecuación 23 el número de paneles se calcula de la siguiente forma:

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{Cmax}{EP}$$

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{340,16Whd}{287,7Whd}$$

$$N^{\circ} \text{ paneles} = 1,18 \text{ paneles} \approx 2 \text{ paneles}$$

f.6.4 Cálculo de la sección de los conductores.

La determinación de la sección correcta del cableado es muy importante, ya que todo el sistema de arranque es de 12V cd y al ser pequeño el voltaje existen corrientes muy elevadas; por ello es muy importante calcular la sección del conductor para evitar grandes caídas de voltaje.

Para esto habrá que conseguir longitudes lo más cortas posibles, para que la resistencia de los conductores sea la menor y podamos mejorar la caída de tensión.

La fórmula sencilla y fácil de utilizar para calcular la sección de los conductores según la ecuación 25 es:

$$R = \frac{\rho \times l}{S}$$

Dónde:

I = es la intensidad en (A)

ρ = es el coeficiente de conductividad del cobre $0,0175 \Omega mm^2/m$

S= sección

El sistema de arranque está compuesto principalmente por un tablero de control, el cual tiene una distancia tablero de control-motor de arranque de 7,5m para el primer

aerogenerador, para el segundo aerogenerador tiene una distancia de 14m.

La intensidad máxima que circula constantemente por el circuito de fuerza es de 65A, con estos datos encontrados, nos guiarnos en la tabla 8 la cual ayudó a escoger el calibre de conductor AWG #4 el cual soporta una corriente de 70A, pero por cuestiones de seguridad se pasa a tomar el inmediato superior que sería el cable AWG #2 y por ende su sección transversal sería de $33,62mm^2$.

De lo anteriormente mencionado procedemos a encontrar la resistencia del conductor con la siguiente formula.

$$R = \frac{\rho \times l}{s}$$

$$R = \frac{0,0175\Omega mm^2/m \times 7,5m}{33,62mm^2}$$

$$R = 0,0039\Omega$$

Una vez encontrada la resistencia que ofrece este tipo de conductor al paso de corriente, se calcula la caída de tensión para comprobar que no exceda el 3% de su voltaje nominal.

$$\Delta V = I \times R$$

Dónde:

$$\Delta V = \text{Caída de tensión}$$

I= Intensidad

R= Resistencia.

$$\Delta V = I \times R$$

$$\Delta V = 65 \times 0,0039$$

$$\Delta V = 0,25 \leq 3\% \text{ su voltaje nominal.}$$

Se procede a encontrar el diámetro y calibre de conductor necesario para el segundo sistema de arranque.

$$R = \frac{\rho \times l}{s}$$

$$R = \frac{0,0175\Omega\text{mm}^2/\text{m} \times 14\text{m}}{33,62\text{mm}^2}$$

$$R = 0,0078\Omega$$

$$\Delta V = I \times R$$

$$\Delta V = 33 \times 0,0078$$

$$\Delta V = 0,257$$

Como se puede observar las pérdidas por caída de tensión son muy bajas por lo cual se procede a trabajar con el mismo diámetro de conductor para el segundo sistema de arranque

f7. Valoración Económica.

El costo de construcción del sistema de arranque es el siguiente:

Tabla 22. Costo de materiales para construcción mecánica del sistema de arranque.

Item	Descripción	unidad	Valor unitario	Valor total
1	Motor de arranque	2	\$60	\$120
2	Cremallera	2	\$40	\$80
3	Discos de acero AISI 1040 Ø 340mm	2	\$17,50	\$35
4	Tubo de acero AISI 1040 de 2"	2m	\$20	\$20
5	Ángulos de 1" × 1/8	2	\$15	\$30
6	Varilla lisa de 3/8"	1,5m	\$ 2	\$2
7	Platina de 4" × 1/4	2,60m	\$30	\$30
8	Perno 3/8 × 1"	20	\$0,112	\$2,24
9	Tuerca 3/8	20	\$0,048	\$ 0,96
10	Arandela 3/8 " Plana	20	\$0,040	\$0,80
11	Pintura sup. Gris mate 1/4	1	\$3,79	\$3,79
12	Pintura sup. Negro mate 1/4	1	\$3,79	\$3,79
13	Total			\$328,58

Fuente: Los Autores.

Tabla 23. Costo de materiales eléctricos y de control automático.

Item	Descripción	unidad	Valor unitario	Valor total
1	PLC Easy	1	\$ 150	\$150
2	Relé de potencia tipo sócalo	2	\$15,00	\$30,00
3	Relé de potencia Bosch	3	\$3,50	\$10,50
4	Selector de 3 posiciones	1	\$ 3,50	\$3,50
5	Selector de 2 posiciones	1	\$3,00	\$3,00
6	Anemómetro de copas.	1	\$280	\$280
7	Batería100Ah 12V Dc ciclo profundo	1	\$210	\$210
8	Batería 45Ah 12V Dc ciclo corto	1	\$60,00	\$60,00
9	Breaker bifásico de 16 A	1	\$10,00	\$10,00
10	Aislantes tipo envoltura	2	\$1,20	\$2,40
11	Borneras trifásicas	2	\$5,00	\$10,00
12	Luz piloto	2	\$1	\$2,00
13	Cable de transmisión de datos.	1	\$60	\$60
14	Varilla de puesta a tierra	1	\$3,00	\$3,00
15	Conector de varilla puesta a tierra	1	\$2,00	\$2,00
16	Terminales tipo pin	50	\$0,05	\$2,50
17	Caja de control de 40×40	1	\$50	\$50
18	Paneles fotovoltaicos	2	\$280	\$560
19	Cable AWG #4	45m	\$3,50	\$157,50
20	Cable AWG#12	8m	\$8	\$8
21	Cable AWG#18	10m	\$4	\$4
22	Cinta tipo espagueti	1	\$5,50	\$5,50
23	Cinta aislante	3	\$0,85	\$2,55
24	Conectores de Batería	2	\$2,50	\$5,00
25	Conectores para cable AWG#4	7	\$1,00	\$7,00
26	Tubo PBC 3"	3	\$4,00	\$12,00
27	Codos de 3"	2	\$1,00	\$2,00
28	T de 3"	1	\$1,00	\$1,00
29	Spray negros	2	\$2,50	\$5,00
30	Total			1658,45

Fuente: Los Autores.

Tabla 24.Costo por mano de obra.

Item	Descripción	unidad	Valor unitario	Valor total
1	estructura y soporte de paneles solares	1	\$50,00	\$50,00
2	Ensamblaje de motores de arranque a estructura de soporte	2	\$70,00	\$140,00
3	Armado de caja de control para sistema de arranque	1	\$300	\$300
4	Técnico electricista.	1	\$100	\$100
5	Total			\$590,00

Fuente: Los Autores.

Tabla 25.Costo por transporte

Item	Descripción	unidad	Valor unitario	Valor total
1	Envío de material eléctrico.	1	\$20,00	\$20,00
2	Envío de material de control	1	\$15,00	\$15,00
5	Total			\$35,00

Fuente: Los Autores.

Tabla 26.Costo Total del sistema de arranque.

Item	Descripción	unidad	Valor unitario	Valor total
1	Materiales para construcción mecánica.	1	\$328,58	\$328,58
2	Costo de materiales eléctricos de control automático	1	\$1658,45	\$1658,45
3	Costo por mano de obra	1	\$590,00	\$590,00
4	Costos Indirectos.	1	\$35,00	\$35,00
5	Total			\$2612,03

Fuente: Los Autores.

Como se puede apreciar el costo del sistema de arranque en su totalidad es de \$2612,03 Dólares Americanos, luego de esto se va a hacer una valoración económica entre el costo del sistema de arranque y la energía captada por los aerogeneradores de eje vertical; para de esta manera analizar el tiempo en el cual el sistema de arranque podría ser pagado en su totalidad por la energía renovable que los aerogeneradores pueden emitir a un cierto costo por cada KWh de consumo.

Según datos obtenidos por los tesisistas que diseñaron y construyeron los aerogeneradores de eje vertical pudimos obtener los siguientes datos:

Potencia de aerogenerador 1: 1,5KW

Potencia de aerogenerador 2: 0,1KW

Con estos datos obtenidos se procede a encontrar el costo por kWh de consumo según precios establecidos por la EERSSA para consumo residencial.

$$\text{Costo} = P \text{ de aerogenerador} \times \text{horas de consumo} \times 365 \times Kwh$$

$$C = 1,5kW \times 7 \times 365 \times 0,11 \frac{\$}{kWh}$$

$$C = \$421,58$$

El aerogenerador uno estaría cobrando \$421,58 centavos por consumo anual.

$$C = 0,1kW \times 7 \times 365 \times 0,11 \frac{\$}{kWh}$$

$$C = \$28,11$$

El aerogenerador dos estaría cobrando \$ 28,11 centavos por consumo anual.

De lo cual se puede decir que entre los dos aerogeneradores se cobraría anualmente una suma de:

$$\text{Costo} = \text{Aerogenerador 1} + \text{Aerogenerador 2}$$

$$\text{Costo} = \$421,58 + \$28,11$$

$$\text{Costo} = \$449,69$$

Para hacer una valoración económica se analizó el precio que se cobraría anualmente por consumo eléctrico emitido por los dos aerogeneradores, encontrando un valor económico de \$449,69 Dólares americanos anuales.

Tabla 27. Análisis de económico entre sistema de arranque y Aerogeneradores.

Item	Descripción.	Costos
1	Costo de sistema de arranque	\$2612,03
2	Valor económico emitido por aerogeneradores.	449,69

Fuente: Los Autores.

Como se puede apreciar en la tabla 27 de análisis económico para poder cubrir la demanda de costo que se realizó para la construcción del sistema de arranque se procede de la siguiente manera:

Se divide el costo del sistema de arranque entre el valor económico emitido por los aerogeneradores y el consumo anual que debe pagar el usuario consumidor, de esta forma se puede encontrar el tiempo en el cual los aerogeneradores cubrirán el gasto por implementación del sistema de arranque.

$$\frac{\$2612,03}{\$449,69} = 5,8$$

Con lo cual se aprecia que los aerogeneradores cubrirán el gasto por implementación de sistema de arranque en 5 años y 8 meses.

g.- DISCUSIÓN.

El sistema de arranque diseñado, construido e implementado en el parque eólico del AEIRNNR posee elementos versátiles, los cuales aseguran confiabilidad y el perfecto funcionamiento de cada uno de los elementos que componen al sistema anteriormente mencionado.

De esta forma se afirma que el sistema de arranque funciona correctamente, ayudando así a vencer la inercia de arranque que poseen los aerogeneradores implementados en el parque Eólico del AEIRNNR.

El sistema de arranque les será de mucha ayuda a los aerogeneradores para su futura generación de energía eléctrica, ya que el mismo consta de alimentación eléctrica propia con energía limpia y libre de contaminación a través de paneles fotovoltaicos, los cuales alimentan completamente y eficientemente el sistema de arranque.

Se puede decir que el sistema de arranque no presenta mayor complejidad en el momento del montaje.

Por último, se puede asegurar que el sistema de arranque trabaja con normalidad y eficiencia ya que esto se lo pudo comprobar a través de pruebas de funcionamiento que se realizó para reparar las posibles fallas y averías que se encuentren en el sistema.

h.- CONCLUSIONES

Del proceso investigativo del proyecto de tesis se concluye en lo siguiente:

- ✓ El sistema de arranque implementado en los aerogeneradores de eje vertical funciona eficientemente, debido a que ayudan a vencer la inercia de arranque que poseen.
- ✓ El sistema de energía fotovoltaica implementado en el sistema de arranque, abastece la demanda energética que consumen los dispositivos eléctricos y electrónicos del mecanismo implementado
- ✓ Los componentes electromecánicos y dispositivos electrónicos del sistema de arranque utilizados son los adecuados ya que presentan buenas condiciones de trabajo.
- ✓ El sistema de transmisión mediante el motor de arranque es el más adecuado para este sistema, ya que nos permite acoplar y desacoplar automáticamente el piñón del motor de arranque con la rueda dentada del eje del aerogenerador.
- ✓ El autómata programable EASY posee entradas analógicas o de pulsos rápidos por lo que permite conectar el anemómetro de copas con las entradas analógicas del PLC.
- ✓ Gracias a las pruebas realizadas para corregir fallas en el sistema de arranque, se pudo verificar que el sistema está trabajando en óptimas condiciones de funcionamiento.

i.- RECOMENDACIONES.

- ✓ Dimensionar adecuadamente los dispositivos y mecanismos necesarios para el control del sistema de arranque, manteniendo a los equipos en buenas condiciones de trabajo; realizando revisiones periódicas de los mismos.
- ✓ Verificar las conexiones tanto en la caja de control como en los paneles fotovoltaicos, para evitar posibles fallos de funcionamiento en el sistema de arranque.
- ✓ Si no se usa un regulador de carga, entonces trate de alimentar por separado las cargas eléctricas tanto en el circuito de mando como en el de fuerza, ya que el sistema de arranque consta principalmente de motores de arranque los cuales absorben una corriente eléctrica muy elevada, de esta manera se puede evitar que los dispositivos de mando absorban una corriente muy elevada al momento de descarga de la batería que alimenta al circuito de fuerza.
- ✓ Se recomienda ubicar en una torre a estos prototipos, para que de esta manera aprovechen mejor el trabajo que realiza en ellos el sistema de arranque y en sí el recurso eólico del sector.
- ✓ Seguir impulsando el uso de nuevas tecnologías, con el fin de mejorar la eficiencia de los prototipos de sistema de arranque para aerogeneradores, y así conseguir conocimientos profundos y sólidos que aseguren un buen desenvolvimiento del Ingeniero electromecánico en este campo tan prometedor de la ciencia.

j.- BIBLIOGRAFIA.

LIBROS:

- ✓ **ALLENS. HALL, JR,** Teoría y Problemas de Diseño de Maquinas.
McGraw Hill 1971.
- ✓ **HENRIOT. G.1968.** Manual práctico de engranajes.
- ✓ **VILLARRUBIA, Miguel. 2007.** *Energía Eólica.* Barcelona, España: Ceac.
- ✓ **SHINGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles,** Diseño en Ingeniería Mecánica.
McGraw Hill. 2002.

TESIS:

- ✓ **CARRIÓN, Luis, PUCHAICELA, Pablo.** Diseño y simulación de un aerogenerador de eje vertical con rotor tripala para el laboratorio de energías alternativas del AEIRNNR.
- ✓ **FLORES, Diógenes, LALANGUI, Jorge. 2012.** Diseño y construcción de un aerogenerador vertical con rotor espiral tipo veleta para la obtención de energía eléctrica, a implementarse en el laboratorio de energías alternativas del AEIRNNR de la UNL.
- ✓ **VÁSQUEZ, Bladimir, MUÑOZ, Marlon. 2012.** Diseño e implementación de un sistema de generación eléctrica con un aerogenerador para la vivienda rural sostenible de interés social del AEIRNNR.

TEXTOS DIGITALES:

- ✓ **FERNANDEZ, Pedro. 2000.** Energía Eólica. Cantabria, España: Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética de Universidad de Cantabria.
<http://www.termica.webhop.info/>
- ✓ **GUILLEN, Omar.** Maquinas eoloeléctricas de eje vertical pdf.
- ✓ **SALAZAR, Jorge. 2001.** Mecánica Básica para estudiantes de Ingeniería.
Universidad Nacional de Colombia.
- ✓ **VANEGAS, Libardo. 2012.** Introducción a los accionamientos de máquinas.

PÁGINAS WEB:

- ✓ <http://www.bosch.com.br/br/negociosindustriais/produtos/relés/pdf/relésContatodersDeMando.pdf>. Relés de potencia [En línea][Citado el 20 de Junio del 2005]
- ✓ <http://www.enalmex.com/docpdf/libro/ch08.pdf.pdf>. Los cables de conexión. [En línea]
- ✓ <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448169263.pdf>
- ✓ <http://www.mecapedia.uji.es/catalogos/engranaje/tecnopower.1.pdf>
- ✓ <http://www.profisica.cl/comofuncionan/como.php?id=19>. Conductores eléctricos. [En línea] [Citado el 15 de julio del 2006].
- ✓ <http://www.proviento.com.ec/>. Sistemas fotovoltaicos. [En línea] [Citado el 13 de Marzo del 2011].
- ✓ <http://es.scribd.com/doc/14827760/Calculo-de-Engranajes-Rectos>
- ✓ http://www.wikipedia.org/wiki/Motor_de_arranque. Motor de arranque. [En línea] [Citado el 8 de junio del 2008]
- ✓ <http://www.wind-sensor.com/catalogos/ANEMO4403.pdf>Anemo 4403 [En línea]

k.- ANEXOS.

- **Anexo1.** Fotos en pruebas de funcionamiento.

Comprobación de la velocidad del viento en el PLC.



Envío de señales de frecuencia desde anemómetro a PLC



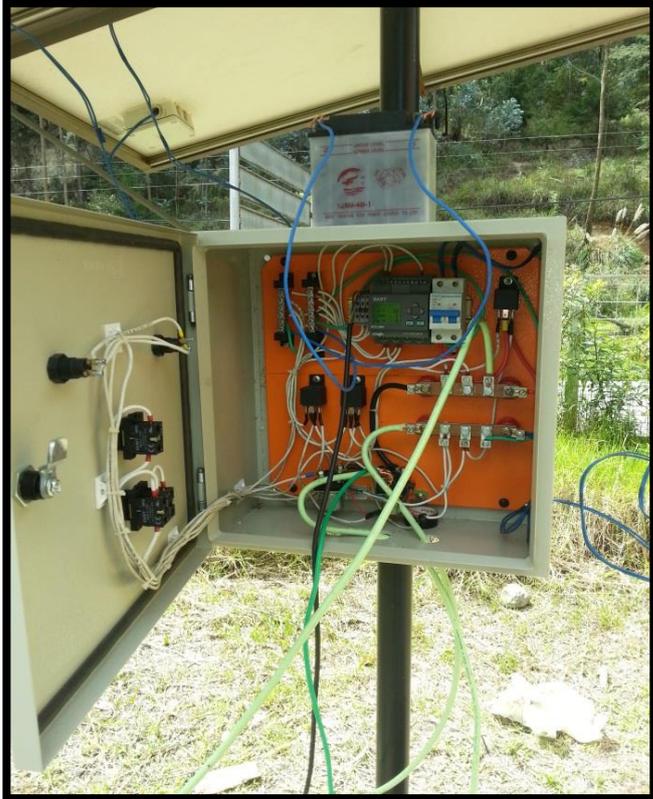
Verificación de carga completa en la batería.



Soporte de sistema de transmisión y motor de arranque.



Tablero de control del sistema de arranque



Instalación de paneles fotovoltaicos y acumuladores de carga.



- **Anexo 2.**

Verificación de armado de tablero de control



Tablero de control del sistema de arranque.



Sistema fotovoltaico y tablero de control



Sistema de transmisión Aerogenerador Savonius Helicoidal





Sistema de transmisión de Aerogenerador de eje vertical con rotor tripala

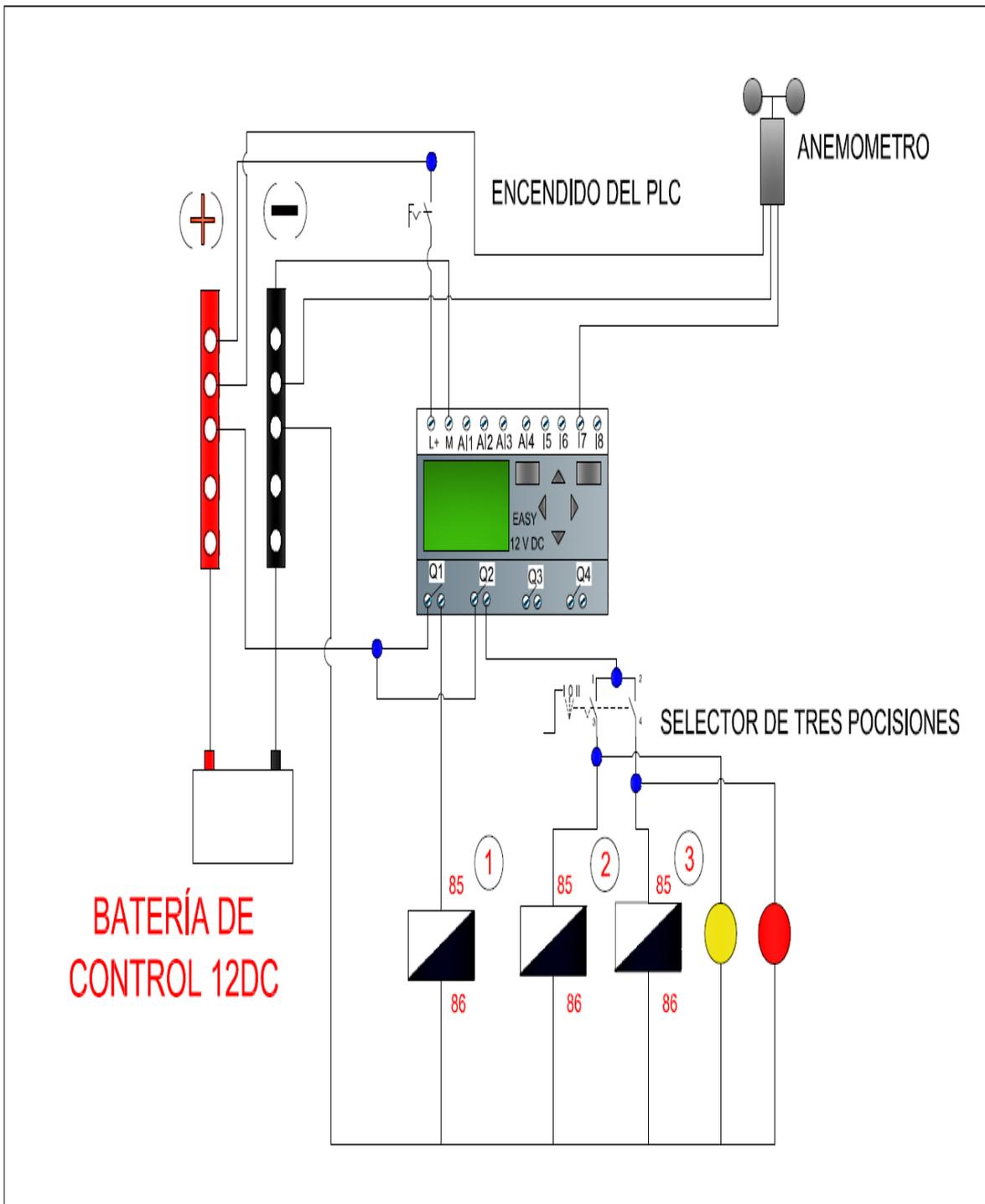


Montaje de sistema de transmisión para los dos aerogeneradores.

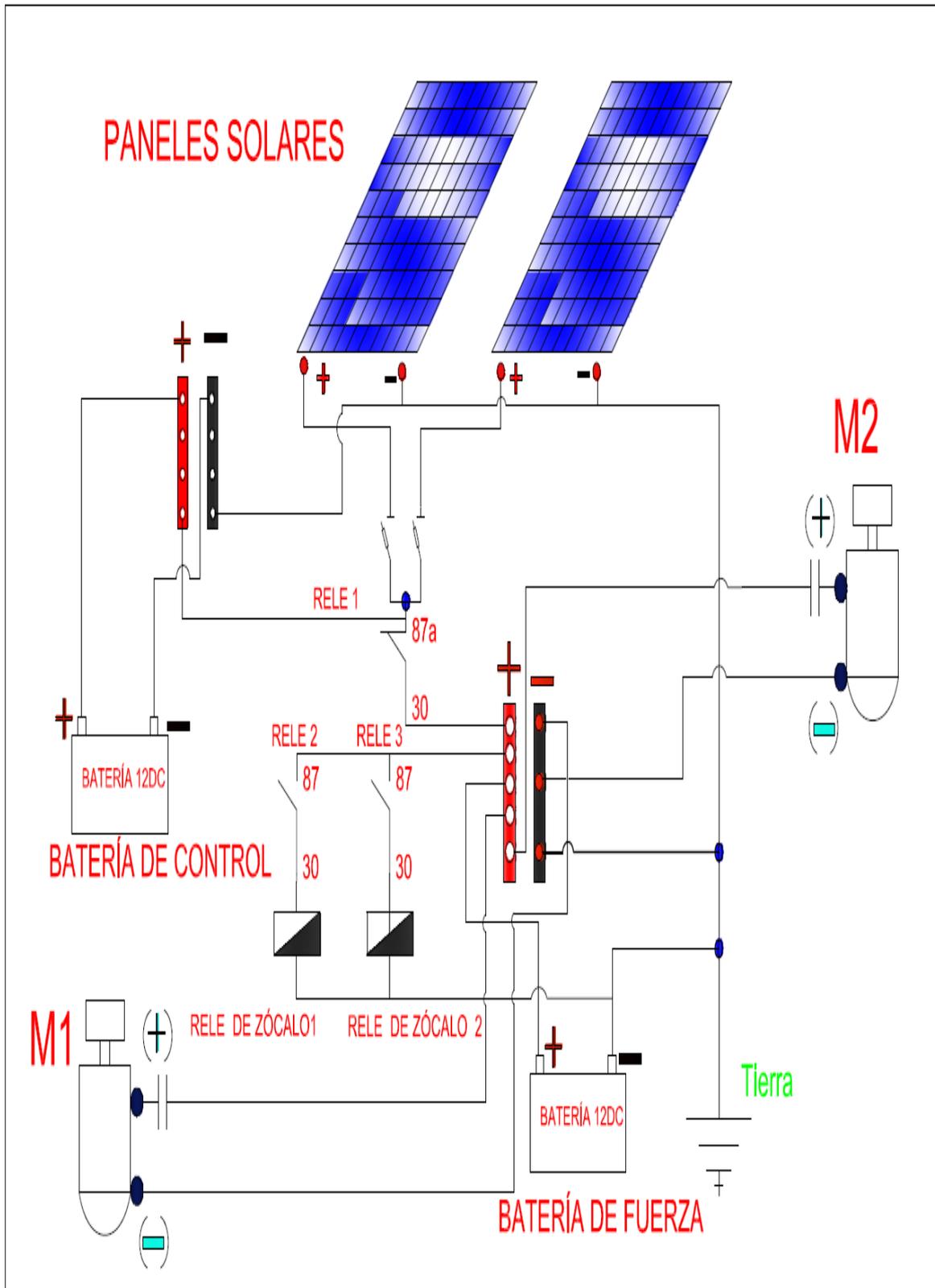


- Anexo 3.

Diagrama de conexión de mando



- Anexo 4. Diagrama de conexión de fuerza.



- Anexo 5. Factor de sobrecarga Ko.

MÁQUINA IMPULSADA				
Fuente de potencia	Uniforme	Impacto Ligero	Impacto medio	Impacto pesado
Uniforme	1	1.25	1.5	1.75
Imp. Ligero	1.1	1.35	1.6	1.85
Imp. Medio	1.25	1.5	1.75	2
Imp. pesado	1.5	1.75	2	2.25

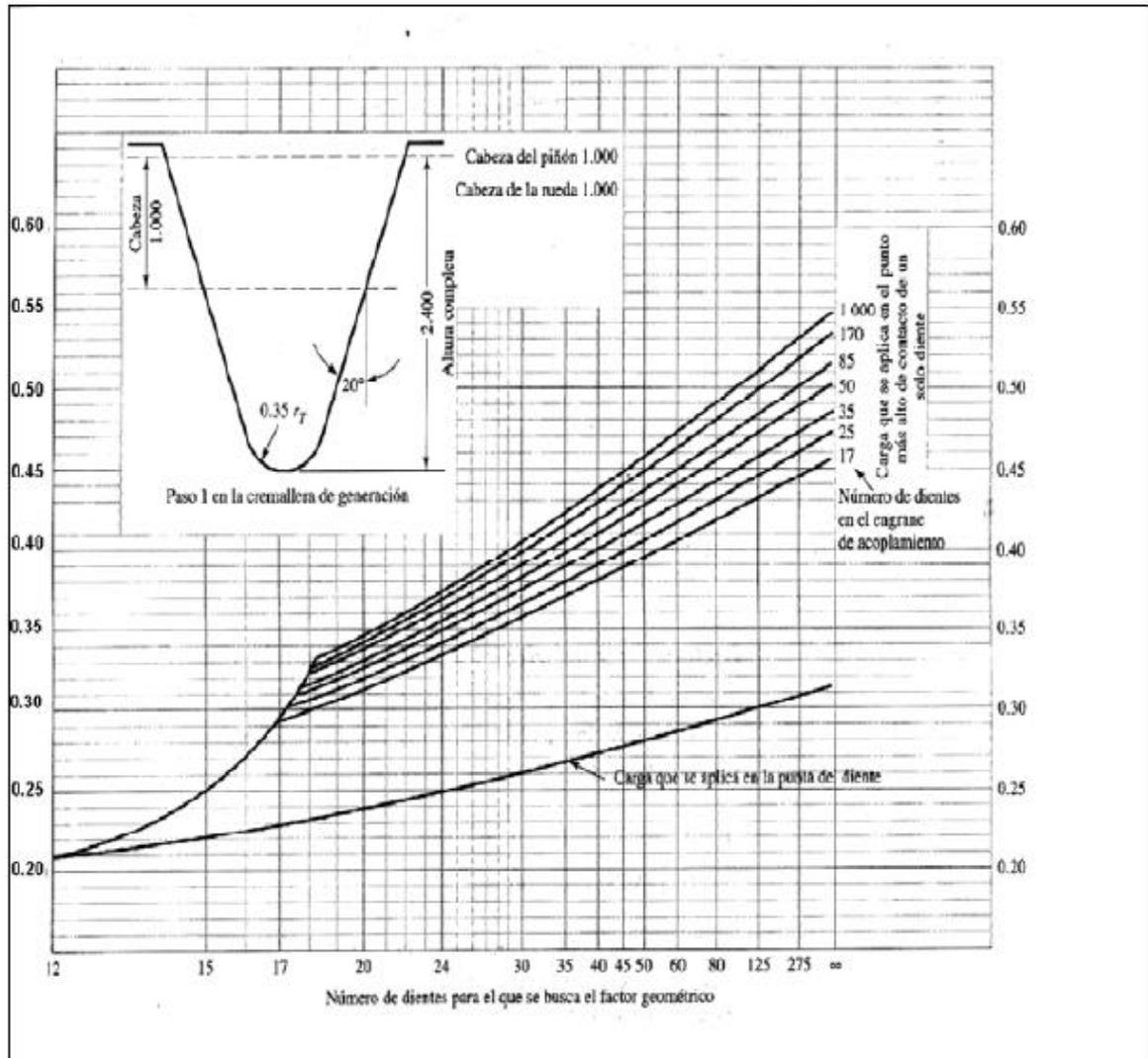
Fuente: SHINGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles, Diseño en Ingeniería Mecánica. MacGraw Hill. 2002.

- **Anexo 6. Factor dinámico Kv.**

APLICACIÓN	NÚMERO DE CALIDAD
Impulsor de malacate para mezcladora de cemento	3-5
Horno para secar cemento Impulsores para fresadoras de acero	5-6
Cosechadora de granos; Grúas; Prensa de punzón;	5-7
Máquina para fabricar cajas de papel	6-8
Mecanismos para medir gas Taladro eléctrico pequeño	7-9
Lavadora de ropa	8-10
Prensa para imprimir	9-11
Transmisión automotriz	10-11
Impulsor para antena de radar Impulsor de propulsión marina	10-12
Impulsor para motor de avión	10-13
Giroscopio	12-14

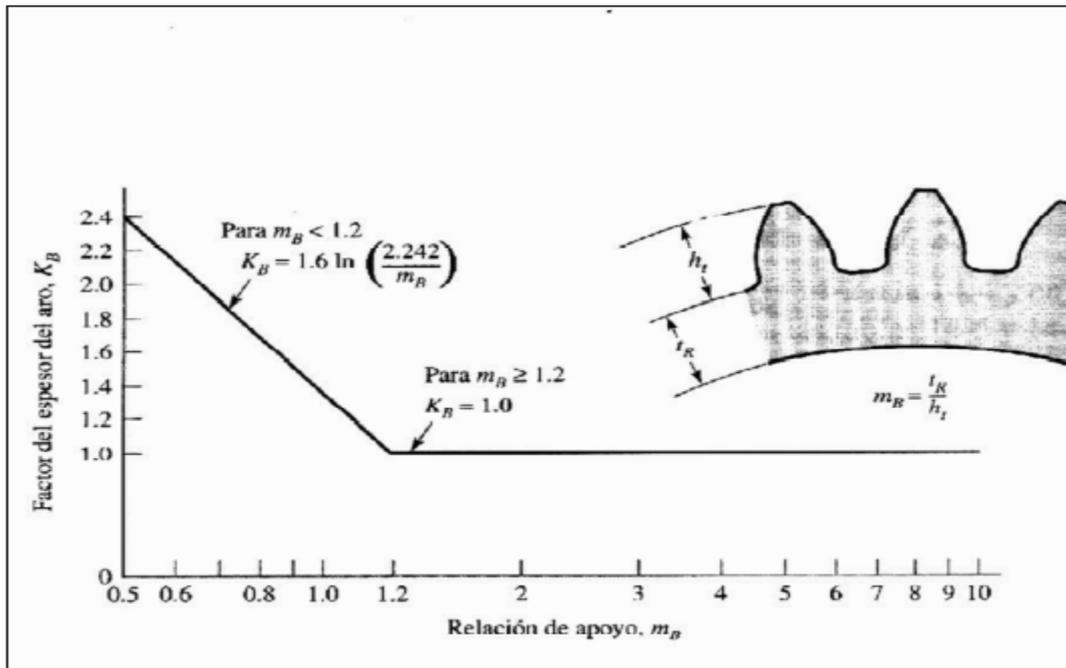
Fuente: SHINGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles, *Diseño en Ingeniería Mecánica*. MacGraw Hill. 2002.

- Anexo 7. Factor Geométrico J



Fuente: SHINGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles, Diseño en Ingeniería Mecánica. MacGraw Hill. 2002.

- Anexo 8. factor de espesor del aro Kb.



Fuente: SHINGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles, Diseño en Ingeniería Mecánica. MacGraw Hill. 2002.

- Anexo 9. Factor de tamaño ks

Factores de tamaño sugeridos, K_s		
Paso diametral, P_d	Módulo métrico, m	Factor de tamaño, K_s
≥ 5	≤ 5	1.00
4	6	1.05
3	8	1.15
2	12	1.25
1.25	20	1.40

Fuente: SHINGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles, Diseño en Ingeniería Mecánica. MacGraw Hill. 2002.

- **Anexo 10. Factor de tamaño ks**

El factor de distribución de carga **Km (Cm)** se emplea para considerar los aspectos siguientes: el desalineamiento de los ejes geométricos de rotación, las desviaciones del avance, y las deflexiones elásticas originadas por las cargas en los ejes, cojinetes o en le alojamiento.

F en pulg (mm)	Factor Km
<2 (50)	1.6
Hasta 6 (150)	1.7
Hasta 9 (230)	1.8
>20 (500)	2.0

Valores de distribución de cara Km en función de la anchura de la cara del diente.

Fuente: SHINGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles, Diseño en Ingeniería Mecánica. MacGraw Hill. 2002