

BÓREAS 500

MANUAL DE FABRICACIÓN DEL AEROGENERADOR DE APLICACIÓN RURAL.



ITESM CAMPUS MONTERREY

ÍNDICE

• Introducción	5
• Maquinas Herramienta Recomendadas	7
• Piezas incluidas en el kit	8
• Descripción de las piezas del aerogenerador	10
• Localización de las piezas en cada conjunto	27
• Conjunto de la transmisión	34
• Pegado de imanes en los platos en platos de imanes	38
• Protección de imanes aplicando resina	54
• Molde de madera para el estator	59
• Máquina para hacer bobinas	84
• Embobinado	92
• Conexión electromecánica de las bobinas	98
• Fabricación del alternador	106
• Ensamble del estator con el rotor	116
• Sistema de Orientación y Desvío	128
• Fabricación de aspas de madera	131
• Unión de las aspas para su ensamble	157
• Balanceo estático y dinámico	158
• Anexos	

AGRADECIMIENTOS

Al **Dr. Armando Rafael Llamas Terrés** al creer que la tecnología y la conciencia del ahorro y uso eficiente de energías limpias pueden llevarse y darse a conocer a todas las personas.

A la **Ing. Hilda Catalina Cruz Solís**, que ha cobijado este proyecto al creer en el Centro de Estudios de Energía como colaborador para a la investigación y la facilitación de las estrategias para conseguir que los conocimientos adquiridos sean en beneficio de la sociedad mediante redes de transferencias del conocimiento.

A los **alumnos** de las clases de **Tópicos de Ingeniería y de PADS**, que a su paso por la carrera han dejado en mí impresiones importantes y que sin duda han sido incluidas en este manual.

A **Eduard Lenz**, por hacer públicos los conocimientos y transformar la voluntad en una forma para producir electricidad.

A todas aquellas personas que se preocupan por el medio ambiente y que constantemente se preguntan que pueden aportar para ayudar a ganar la guerra contra el calentamiento global.



Ing. Carlos Alejandro Saucedo Pérez
Maestría en Ingeniería Energética

INTRODUCCION.

La idea de transformar las brisas de viento en movimiento mecánico que genere energía eléctrica ha venido creciendo desde ya hace varias décadas, siendo los rusos los primeros en implementar un artefacto que mediante aspas, movió un eje de un generador e iluminó las primeras comunidades aisladas de instalaciones eléctricas del continente.

Esta tecnología fue absorbida por la comunidad europea, en la cual el crecimiento de los aerogeneradores se dio de manera exitosa, y son ellos los que tienen el dominio tecnológico en cuanto a generación Eolo-eléctrica se refiere.

En México, esta tecnología no se ha dado a conocer, en parte debido a su costo, y debido también a la falta de conocimiento que todavía existe y a los paradigmas y utilización de tecnología extranjera que en este país todavía son difíciles de romper.

Se ha hecho el esfuerzo por comunicar y llevar a cabo el conocimiento de la ingeniería detrás de este principio de generación limpia, y se espera que en los próximos años México se envuelva en un pensamiento idealista ambiental y de superación personal.

Hemos estado en numerosos congresos y paneles de información donde comunicamos la necesidad de implementar la energía eólica dentro de la rama de las energías renovables junto con la energía solar, teniendo un sistema híbrido que se ajuste con las necesidades del usuario

Este manual está diseñado para que puedas construir un aerogenerador con las piezas que están incluidas en el kit. Primeramente está tu seguridad y de todas las personas que trabajan contigo, es por eso que se incluye una lista de material de seguridad adicional al incluido en el kit, y es altamente recomendable seguir las instrucciones para evitar accidentes, especialmente con los imanes de neodimio que se incluyen en el kit y no adivinar ni obviar la forma en que se ensamblan las piezas y tener cuidado con las sustancias tóxicas (como la resina de poliéster y el pegamento epóxico).

El manual está dividido en secciones en las que se mencionan las piezas a utilizar y como se ensamblan. También se presentan numerosas imágenes que facilitan el seguimiento de las instrucciones y al final del texto se presentan los anexos con los diagramas para poder fabricar las piezas en caso de falla (exceso de vibraciones) o por fatiga del material (muy raras ocasiones).

MAQUINAS HERRAMIENTA RECOMENDADAS.

Es posible reproducir en un taller de pequeña escala las piezas y se recomienda que al inicio se tengan a la mano las siguientes maquinas herramienta:

- Maquinas especiales
 - Torno
 - Fresadora
 - Taladro de banco

- Maquinas esenciales
 - Máquina para soldar
 - Esmeril
 - Pulidora
 - Lijadora
 - Sierra caladora

PIEZAS QUE INCLUYE EL KIT.

A continuación se muestra el listado de las piezas que incluye el kit. De acuerdo al número de la pieza se da su cantidad, nombre y el conjunto al que pertenecen. El listado de las piezas del kit es como sigue:

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
1	1	Plato Principal	Soporte principal	A-36	B
2	1	Asiento De Rodamientos	Soporte principal	A-36	B
3	1	Soporte Lateral	Soporte principal	A-36	B
4	1	Arandela Tope	Soporte principal	A-36	B
5	2	Rodamientos	Soporte principal	Acero	B
6	1	Poste Principal	Soporte principal	A-36	B
7	1	Soporte Triangular	Desvío	A-36	B
8	1	Soporte Veleta Desvío	Desvío	A-36	B
9	1	Tubo Veleta Desvío	Desvío	Galvanizado	B
10	1	Tubo largo Veleta	Desvío	Galvanizado	B
11	1	Sujetador Veleta	Desvío	Ángulo (Riel)	B
12	1	Plantilla Veleta de Madera	Veleta	Papel	B
13	3	Placas De Madera De 15" x 15"	Veleta	Triplay de ½ in.	B
14	1	Eje	Transmisión	Acero 1045	B
15	2	Platos de Imanes	Transmisión	A-36	B
16	3	Collarines	Transmisión	Acero	B
17	1	Separador de platos de imanes	Transmisión	Aluminio	B
18	1	Opresor	Transmisión	Acero	B
19	1	Cuña	Transmisión	Acero	B
20	24	Imanes de Neodimio	Rotor	Neodimio	B
21	2	Platos del Rotor	Rotor	A-36	B
22	3	Bloques de madera para aspa	Rotor	Pino horneado	B
23	30	Tornillos Grado 5 de ¼ x 2.5"	Auxiliares	Acero	B
24	30	Tuercas De Seguridad	Auxiliares	Acero	B
25	50	Arandelas De Presión	Auxiliares	Acero	B
26	30	Arandelas	Auxiliares	Acero	B
27	30	Pijas Para Madera	Auxiliares	Acero	B
28	1	Separador de imanes	Auxiliar	Acrílico	B
29	1	Pegamento Epoxico	Auxiliar	Pegamento	-
30	1	Rectificador	Auxiliar	Acero	C
31	1	Medidor Watson para DC	Medición	Carcasa plástica	C
32	1	Controlador de carga	Auxiliar	Metálico	C
33	5	Clemas para conexiones	Auxiliar	Plástico	-

34	6	Resistencias de descarga	Auxiliar	Cerámicas	C
35	1	tornillos y tuercas para rectificador	Auxiliar	Metal	C
36	1	Base de acrílico	Auxiliar	Acrílico	-

Tabla 01 Piezas incluidas en el kit

DESCRIPCION DE LAS PIEZAS DEL AEROGENERADOR.

A continuación se ofrece una breve explicación de las piezas que conforman el ensamble de su nuevo aerogenerador Bóreas desarrollado por el Centro de Estudios de Energía del Tecnológico de Monterrey:

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
1	1	Plato Principal	Soporte principal	A-36	B



Figura 1

El plato principal es el encargado de sostener la estructura del alternador. También ofrece el soporte para el asiento de rodamientos, que es soldado en el orificio que se muestra en la figura 1. Cuenta con orificios donde colocamos tornillos de $\frac{1}{4}$ " de diámetro con los cuales se soporta y se ajusta la separación del alternador con los platos de imanes. Es importante que el plato principal sea plano.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
2	1	Asiento De Rodamientos	Soporte principal	A-36	B



Figura 2

Esta pieza mantiene a ambos rodamientos en su lugar. Esta pieza necesita ser maquinada en un torno después de ser soldada al plato principal, para garantizar que el maquinado para los rodamientos sea equidistante con los centros. Es muy importante que al momento de soldarlos al plato principal no se dañen los espacios donde entran los rodamientos, pues rebabas o escoria harán imposible que entren apropiadamente los rodamientos y se dañaran, teniendo que maquinar nuevamente el interior.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
3	1	Soporte Lateral	Soporte principal	A-36	B



Figura 3

El soporte lateral es el encargado de darle lugar al poste principal y dar rigidez al conjunto mecánico del aerogenerador. El poste principal sale justamente lo mismo por arriba que por debajo del soporte lateral.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
4	1	Arandela Tope	Soporte principal	A-36	B



Figura 4

Funciona como tope para el tubo que viene de la base donde va montado el aerogenerador.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
5	2	Rodamientos	Soporte principal	Acero	B



Figura 5

Los rodamientos son los encargados de hacer que el eje ruede con muy poca fricción. Su tecnología hace que sean muy confiables y que no se reemplacen pronto debido a su calidad de fabricación. Actualmente utilizo de la marca Timken de su filiar Fafnir.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
6	1	Poste Principal	Soporte principal	A-36	B



Figura 6

El poste principal es el encargado de soportar al soporte triangular que es el que da el ángulo apropiado a la veleta. Su distancia está calculada para obtener un ensamble efectivo a las demás piezas.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
7	1	Soporte triangular	Desvío	A-36	B



Figura 7

Este triángulo nos da un ángulo que ocupa la función al momento de que entra en funcionamiento la operación de desvío de la veleta. Es muy importante que este bien posicionado con respecto al

poste principal.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
8	1	Soporte veleta desvío	Desvío	A-36	B



Figura 8

La función de este tubo de 1 ¼” de pulgada es la de dar cabida al tubo veleta tubo de la veleta. Este mismo permitirá que exista movimiento relativo entre la cola que es móvil y el soporte que esta fijo al soporte triangular.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
9	1	Tubo Veleta Desvío	Desvío	Galvanizado	B



Figura 9

Este tubo calza perfectamente en la pieza de Soporte Veleta Desvío. Es la encargada de darle un eje de movimiento al conjunto del desvío para que la veleta se pueda orientar con la dirección del viento y también que entre el mecanismo de seguridad activo de desvío en caso de vientos muy fuertes.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
10	1	Tubo largo Veleta	Desvío	Galvanizado	B



Figura 10

La cola se forma con un tubo galvanizado de 1 ¼ de pulgada. La longitud de la cola es de un metro a la que van soldadas dos partes: el tubo que encaja en el soporte para la veleta en el conjunto del soporte y el sujetador de la veleta en el otro extremo.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
11	1	Sujetador Veleta	Desvío	A-36	B



Figura 11

La necesidad de sujetar fuertemente la veleta da función a esta pieza. Se emplea una sujeción mediante tres puntos, mediante una U o agarradera omega y tornillos.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
12	1	Plantilla Veleta de Madera	Veleta	Papel	B



Figura 12

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
13	3	Placas De Madera De 15" x 15"	Transmisión	Triplay de 1/2 "	B



Figura 13

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
14	1	Eje (barra circular)	Transmisión	Acero 1045	B



Figura 14

El eje es el encargado de transmitir el movimiento rotativo de las aspas en movimiento mecánico que hace girar los platos de imanes, originando un campo magnético cambiante. Cuenta con un cuñero y con un separador integrado en la misma flecha que separa la flecha que va en los rodamientos y en la que se ensamblan las demás piezas.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
15	2	Platos de Imanes	Transmisión	A-36	B



Figura 15

Sobre ellos están montados los imanes de neodimio, que proveen por su ubicación un flujo axial que atraviesa el devanado del alternador.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
16	3	Collarín de acero	Transmisión	Acero	B



Figura 16

La función del collarín es mantener al eje en una sola posición con respecto a los rodamientos. Es recomendable dejar por lo menos $\frac{1}{4}$ " afuera del rodamiento trasero del asiento de rodamientos el eje para que después sea abrazado fuertemente por el collarín. También los vamos a usar para fijar las aspas (junto al ensamble mecánico de la cuña con los platos de las aspas) y evitar que se muevan de su lugar.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
17	1	Separador de platos de imanes	Transmisión	Aluminio	B



Figura 17

La función principal del espaciador es mantener los platos de imanes separados a una distancia que permita que puedan ser removidos del ensamble.. Es posible agregar arandelas a los tornillos y separar un poco los platos de imanes al momento de apretar

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
18	1	Opresor	Transmisión	Acero	B



Figura 18

El opresor tiene la función de mantener la cuña apretada dentro del separador de aluminio. Tiene un diámetro de $\frac{1}{4}$ ".

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
19	1	Cuña de $\frac{1}{4}$ "	Transmisión	Acero	B



Figura 19

Una cuña cuadrada permite se transmita potencia y velocidad y que no derrape. La cuña es una solución que se ha mostrado eficiente en la transmisión de velocidad y potencia en ejes de motor.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
20	24	Imanes de Neodimio	Rotor	Neodimio	B



Figura 20

Tienen un flujo magnético intenso y existen en varias categorías de poder. Hay que extremar precauciones cuando se manejan, pues atraen los materiales con alto contenido de ferrita, incluyendo cuchillos, navajas y demás objetos que pueden cortar o prensar las manos. Indispensable usar gafas de seguridad cuando los manejamos.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
21	2	Platos del rotor	Rotor	A-36	B



Figura 21

Los platos del rotor son los responsables de sujetar fuertemente las aspas y de evitar que exista una vibración excesiva al momento de girar, al concentrar el peso del conjunto hacia el centro. Tienen un cuñero por donde pasa una cuña rectangular de y además se mantienen en su posición mediante los collarines.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
22	3	Bloques de madera para aspas	Rotor	Pino Horneado	B



Figura 22

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
23	25	Tornillos Grado 5 de ¼ x 2.5"	Auxiliares	Acero	B



Figura 23

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
24	25	Tuercas de Seguridad de ¼"	Auxiliares	Acero	B



Figura 24

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
25	50	Arandelas de presión ¼"	Auxiliares	Acero	B



Figura 25

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
26	50	Arandelas planas ¼"	Auxiliares	Acero	B



Figura 26

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
27	25	Pijas para madera	Auxiliares	Acero	B



Figura 27

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
28	1	Separador de Imanes	Auxiliares	Acrílico	B



Figura 28

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
29	1	Pegamento Epoxico	Auxiliar	Pegamento	-



Figura 29

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
30	1	Rectificador	Auxiliar	Acero	C



Figura 30

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
31	1	Medidor Watson	Medición	Carcasa plástica	C



Figura 31

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
32	1	Controlador de carga	Auxiliar	Metálico	C



Figura 32

El controlador de carga es necesario para evitar que el banco de baterías pueda sobrecargarse en caso de que haga mucho viento y la turbina este cargando demasiado las baterías. Se le instalan unas resistencias de descarga que ayudan a disipar el exceso en forma de calor.

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
33	1	Clemas para conexiones	Auxiliar	Plástico	C



Figura 33

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
34	1	Resistencias de descarga para el controlador de carga	Auxiliar	Cerámicas	C



Figura 34

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
35	1	Kit de tornillos y tuercas para el rectificador	Auxiliar	Metal	C



Figura 35

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
36	1	Base para instalar la el equipo de carga de baterías	Auxiliar	Acrílico	-



Figura 36

LOCALIZACION DE LAS PIEZAS EN CADA CONJUNTO.

- **CONJUNTO DEL SOPORTE PRINCIPAL**

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
1	1	Plato Principal	Soporte principal	A-36	B
2	1	Asiento De Rodamientos	Soporte principal	A-36	B
3	1	Soporte Lateral	Soporte principal	A-36	B
4	1	Arandela Tope	Soporte principal	A-36	B
5	2	Rodamientos	Soporte principal	Acero	B
6	1	Poste Principal	Soporte principal	A-36	B
7	1	Soporte Triangular	Desvío	A-36	B
8	1	Soporte Veleta Desvío	Desvío	A-36	B

Tabla 02 Materiales para el conjunto del soporte principal

Empieza por localizar el plato principal y el asiento de rodamientos mostrados en la figura 37 y la figura 38 respectivamente.

Son las piezas 1 y 2 del listado de piezas. En caso de que este oxidado, es altamente recomendable que se pule con una lija y se quite el oxido del plato, recomendando también que se recubra con una película de sellador transparente para cerrar los poros y el trabajo de pintura posterior sea de mejor calidad, esto después del trabajo de soldadura.



Figura 37



Figura 38

Inserta el asiento de rodamientos en el agujero central del plato principal como se muestra en la figura 39. Revisa que la cara del asiento de rodamientos este al mismo nivel que la superficie del plato principal.

Es necesario soldar toda la circunferencia y después de que este frio, hay que maquinar el interior del asiento de rodamientos en un torno. Ten cuidado de no dañar la superficie interna del asiento (donde entra el rodamiento) ya que podría causar problemas al insertar los rodamientos si caen pedazos de soldadura o quedan rebabas. En la figura 40 se presenta como deberá quedar la unión.



Figura 39

Dejamos enfriar el ensamble para evitar quemaduras en las manos. Como se muestra en la figura 40, por la parte del frente del plato solo punteamos la barra hueca con el plato principal, sin soldar por dentro, no queremos soldadura abundante ahí, pues tiene que ser lo más plano que se pueda para que entren los platos de imanes.

Una vez unido el asiento de rodamientos al plato principal se procede a soldar el soporte lateral. Se recomienda soldar el soporte lateral entre un par de orificios del plato principal (entre un par de agujeros donde se colocan los tornillos para ajustar el generador), para facilitar su ensamble, y que puedan entrar los 4 tornillos con facilidad, como se muestra en la figura 40.



Figura 40

Se deberá soldar únicamente por los extremos laterales entre el asiento del rodamiento y el soporte lateral. Al soldar ten cuidado de no dañar el asiento y trata de no soldar hasta el borde del

mismo, dejando un pequeño espacio para evitar problemas al momento de ensamblar, justo como en la figura 41.



Figura 41

Después busca el poste principal e introdúcelo en el agujero que se encuentra en el soporte lateral. Introduce el poste principal de tal manera que quede el poste a la mitad de la longitud del tubo. Una vez centrado únelos con soldadura por ambos lados del soporte. Es este tubo el encargado de resistir y proveer movimiento al aerogenerador. Podemos apreciarlo en la figura 42.



Figura 42

A continuación se deberá soldar el soporte triangular (pieza 7) en la parte inferior del poste principal. Se soldarán el lado más largo del triángulo sobre el poste, de tal manera que se una la hipotenusa del soporte triangular con el poste principal, quedando la punta del triángulo hacia abajo como se muestra en la figura 43.

Después, el lado más largo del soporte triangular se soldará al extremo inferior del poste principal. Es importante que se una el soporte triangular a 45° con respecto al eje del giro del eje, como se muestra en la figura 43.

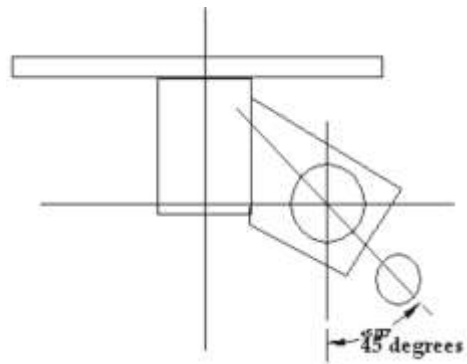


Figura 43

Finalmente se soldará la arandela al extremo superior del poste principal. Cuida que la arandela esté centrada, y con cuidado suelda el perímetro de la unión. Deberá de quedar de manera similar al ensamble en la figura 44.



Figura 44

Una vez que todo está soldado deja enfriar el ensamble pues estará caliente debido al tiempo que se sometió al arco. Después limpia las soldaduras con cuidado y remueve las salpicaduras que

hayan ocurrido. Una vez que se ha enfriado el ensamble aplica en todo excepto en los rodamientos una película de sellador y después píntalo. Además se deberán de insertar los rodamientos por la parte delantera y posterior del asiento de rodamientos. Teniendo especial cuidado en dejarlos correctamente fijos para evitar problemas de vibración una vez girando utilizando una gota de pegamento para rodamientos.

Después de haber hecho todo lo anterior el ensamble deberá verse como en la figura 44:



Figura 44

CONJUNTO DE LA TRANSMISIÓN.

Piezas y material a utilizar:

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
14	1	Eje	Transmisión	Acero 1045	B
15	2	Platos de Imanes	Transmisión	A-36	B
16	3	Collarines	Transmisión	Acero	B
17	1	Separador de platos de imanes	Transmisión	Aluminio	B
18	1	Opresor	Transmisión	Acero	B
19	1	Cuña	Transmisión	Acero	B
20	24	Imanes de Neodimio	Transmisión	Neodimio	B
29	1	Pegamento epoxico	Auxiliar	Pegamento	-

Tabla 03 Conjunto de la transmisión

Empieza por localizar el eje (pieza 14), los platos de imanes (piezas 15), los collarines (piezas 16), y el separador de platos de imanes (pieza 17). Los podemos ver en la figura 45.



Figura 45

Desliza el eje por los dos rodamientos del asiento de rodamientos pegándoles con un mazo de goma (rocía un poco de grasa o aceite sobre el eje para que no exista mucha resistencia al deslizamiento), por otro lado, si tienes un refrigerador cerca te recomiendo meter el eje al congelador y dejarlo alrededor de 20 minutos, esto hará que el eje se encoja un poco y entre con facilidad debido al ajuste de los rodamientos. Coloca por la parte trasera el collarín, dejando por lo menos $\frac{1}{4}$ " del eje después del collarín como se muestra en la figura 46.



Figura 46

Inserta ahora un plato de imanes dejándolo sobre el espaciador hecho en la flecha como se muestra en la figura 47.

NOTA IMPORTANTE

Debe entrar fácilmente, si no, el hoyo está mal hecho o existen rebabas en una o ambas piezas, o bien, si lo pintaste antes, la pintura puede entorpecer la entrada correcta del eje.



Figura 47

Aprieta el collarín en la parte posterior del eje (previamente montado). Lo importante en esta etapa es que haga tope el separador hecho en el eje contra la cara exterior del rodamiento para evitar problemas futuros. Ahora hay que quitar el plato de imanes para precisamente colocar los imanes.

PEGADO DE IMANES DE NEODIMIO EN PLATOS DE IMANES.

Piezas y material a utilizar:

- 2 Platos de imanes planos y limpios.
- 24 imanes de neodimio.
- Separador de imanes (acrílico)
- Pegamento epóxico.
- 2 tornillos de $\frac{1}{4}$ " x 1"
- 2 Tuercas de $\frac{1}{4}$ ".
- Gafas de seguridad.
- Guantes de látex.

Se requieren por cada plato 12 imanes (como los que se muestran en la figura 49), por lo que estarán separados 30° entre sí. Vamos a colocarlos en los platos de imanes alternando su polaridad, por lo que un norte estará seguido por un sur y un sur por un norte.

NOTA IMPORTANTE

Para no tener problemas al colocar los imanes, cuando hayas pegado un imán sobre el plato de imanes, acerca otro imán (solo un imán, no la torre de imanes), y si se repelen, quiere decir que estas acercando polos iguales y se debe pegar el imán como lo estas sosteniendo en la mano, ya que el polo contrario está en la cara opuesta del polo que se repele.

Así para cada imán, por lo que el lado que se repele es el lado por el que deben estar pegados los imanes al plato de imanes.

Para el primer imán, no importa de qué lado se pegue, lo importante es que quede bien alineado, en la cara del imán o sobre el plato, se coloca una marca para indicar que es el primer imán y que es arbitrariamente un norte o un sur. Por ejemplo, si decidimos que la cara que queda hacia arriba es un norte, la cara del siguiente imán tiene que ser por necesidad un sur hacia arriba y un norte que si acercamos al primer imán, deberá repelernos.



Figura 48

Para hacer la separación de 30° se incluye un separador de imanes hecho en acrílico, debido a que este material es frágil, deberán tener cuidado porque lo vamos a utilizar para ambos platos.



Figura 49

Debido a que tiene el mismo diámetro de los platos de imanes y pasan los tornillos por el mismo diámetro, se escogen dos agujeros por donde se colocan dos tornillos en cualquier posición del plato de imanes para fijar la plantilla y después se aprietan con la mano, no es necesario apretar fuerte.



Figura 50



Figura 51

Vamos a realizar la operación del pegado con mucho cuidado, recomiendo usar gafas de seguridad pues el pegamento puede saltar en caso de dejar caer accidentalmente el imán, y utilizar guantes de látex para evitar que el pegamento epóxico toque la piel, ya que puede causar resequedad y sobre todo la sensación de incomodidad al trabajar.

NOTA IMPORTANTE

Evita a toda costa trabajar a la altura de los imanes.



Figura 52



Figura 53

Se coloca en el separador de imanes una capa fina de cera automotriz entre las separaciones de los imanes, solo una pequeña capa, utilizando los dedos de la mano, para que el pegamento que se sale por los lados del imán no se quede pegado al separador y pueda removerse después para ser utilizado en el segundo plato de imanes.



Figura 54



Figura 55

También puede utilizarse cualquier tipo de grasa pero **NO** deben existir residuos ni oxido en los espacios destinados a los imanes, así que límpialos antes de pegar cualquier imán y observa en general el estado de cada plato de imanes.



Figura 56 Imán sucio y con grasa



Figura 57 Imán limpio utilizando un poco de alcohol.

Al momento de acercar el imán este va a querer pegarse al plato, cuidado con los machucones de dedo o de dejar caer el imán pues puede romperse y estropearse, no podemos utilizar un imán cuarteado o roto. Recomiendo ampliamente rayar la superficie donde se va a colocar el imán, esto es para que el pegamento pegue con mayor resistencia, debido a que se cuela también en las irregularidades de la superficie.



Figura 58



Figura 59

NOTA IMPORTANTE

La mejor manera es acercar poco a poco el imán, acercar el imán y primeramente apoyar solamente la punta del imán. Los imanes de neodimio tienen una capa protectora de níquel, pero en realidad son muy frágiles y no deben dejarse caer.

No olvidemos que parte importante del funcionamiento de la turbina es pegar de manera correcta los imanes. Primeramente y como regla de oro cuando empezemos a trabajar con cualquier tipo de imanes, es alejar de la mesa de trabajo cualquier herramienta de hierro, llaves, relojes, etc. El campo magnético de los imanes de Neodimio es muy intenso y puede ocasionar que las herramientas se peguen repentinamente a los imanes provocando accidentes y sustos.

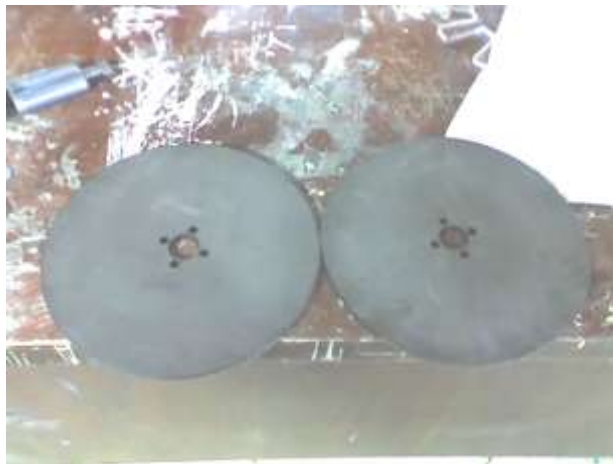


Figura 60

El pegamento epóxico es tóxico y para preparar el pegamento se debe estar cerca de un lugar ventilado donde no se concentren los vapores que suelta el pegamento. Se coloca en el plato una combinación de los dos pegamentos y se mezclan aproximadamente por 20 segundos hasta que estos adquieren un color gris oscuro.



Figura 61



Figura 62

NOTA IMPORTANTE

Cuando acabemos de pegar imanes, se deberán lavar ambas manos inmediatamente, pues si bien los residuos se secan, los componentes pueden ser tóxicos y además podemos llevárnoslos a la cara y ojos.

Se coloca una pequeña cantidad de pegamento en el disco (solo una pequeña cantidad, si ponemos en exceso el pegamento se pegara también al acrílico y como resultado de eso tendremos que romper el acrílico para poder sacarlo después), y pegamos la parte más angosta del imán de manera vertical y la mantenemos ahí. Con mucho cuidado vamos bajando el imán hasta que la mitad esta dentro del disco y la otra mitad la sostenemos con la mano. El imán se resbalara debido al pegamento y se posicionará automáticamente.



Figura 63

Recomiendo tener a la mano una herramienta de madera o plástico y dar unos pequeños golpes en la parte más ancha del imán ya pegado en el plato, para que ajuste a la perfección y le quitemos el exceso de aire que pudo haberse quedado en el interior. Marcamos con un plumón negro el primer imán que peguemos. Me ha pasado en muchas ocasiones que aun cuidando el exceso de pegamento, se pega el acrílico a los imanes, teniendo que romper la plantilla. Es casos

como este, no nos debemos preocupar.



Figura 64

Debido a que el acrílico es un material muy duro pero frágil, cuando se rompe, deja la forma de la ruptura, y si no perdemos la pieza que se cayó, podemos colocarla fácilmente, es como si se nos rompiera un vaso de cerámica y tratáramos de juntar todas las piezas, excepto que el acrílico no se desquebraja como la cerámica.

NOTA IMPORTANTE

Un separador de imanes roto también nos puede servir como si fuera uno nuevo, por lo tanto, si es el caso de que se rompe, no lo tiren, se puede reutilizar.

Después deslízalo con cuidado por el plato y de manera automática tomará el espacio del separador de imanes, es decir, tomara el lugar vacío destinado para él. Hay que darle unos golpes con el dedo sobre el imán para evitar que quede aire entre el imán y el plato con el pegamento. Los dos discos deberán de verse de manera similar a la figura 65 ya con el separador de acrílico montado y los primeros 3 imanes alternados.



Figura 65

Una vez que los primeros imanes de cada disco están correctamente pegados se prosigue en pegar los siguientes 11 imanes en cada disco. Se recomienda que se termine primero un disco y después dejarlo en algún lugar alejado de la zona de trabajo, para evitar problemas al momento de pegar los imanes al siguiente disco.



Figura 66

Al pegar los imanes es importante recordar que deberán de ser con polaridad alterna, un norte seguido por un sur, y un sur por un norte.



Figura 67

Es importante que cuando se peguen los imanes y se rompa una de las patas del separador de acrílico, se numeren antes para que sepamos a cual pata corresponde a cada posición, de esta manera, aunque se rompa, podemos utilizarlo nuevamente.

No importa que se rompa, como lo mencione arriba. No se preocupen si inclusive se rompen todas las patas, no pasa nada, se puede volver a utilizar. Para revisar que estén correctamente instalados se puede pasar un imán por la circunferencia del disco, sintiendo que en un imán se repele y en el

siguiente se atrae y así sucesivamente, claro, una vez que estén sólidamente pegados al plato mediante el pegamento epóxico.

Al terminar ambos discos es muy importante que por ninguna razón permitas que éstos estén cerca uno de otro, ya que si llegaran a unirse por las fuerzas de atracción magnética sería imposible separar los platos sin dañar de alguna manera los imanes o los discos. Siendo especialmente cuidadoso con los dedos, ya que si llegaran a unirse los discos podrían causar lesiones serias.

NOTA IMPORTANTE

En la figura 67 se ve un disco terminado de imanes. Recomendando guardar la plantilla de acrílico completa, o en el caso de romperse, enumeramos con un plumón las patitas del acrílico, para saber quién va con quien como en la figura 67.



Figura 67 Plato de imanes completo con ayuda de la plantilla.

PROTECCIÓN DE IMANES APLICANDO RESINA.

Piezas y material a utilizar:

- Platos de imanes con imanes
- Tapa redonda de 2 ¼" o 2 ½" de diámetro
- Resina de poliéster
- Catalizador
- Plastilina
- Guantes de látex
- Cubre boca
- Gafas de seguridad
- Cinta canela

Una vez que los imanes están pegados a los discos magnéticos vaciamos la resina para finalizar la construcción del rotor de imanes.

Utiliza cinta adhesiva para crear una barrera a lo largo de la circunferencia de los discos, de tal manera que la resina líquida no se derrame. Además, coloca en el centro del disco la pieza redonda, como se muestra en la figura 68.



Figura 68

La pieza redonda no requiere ser de ningún material en específico, pero será necesario aplicar un poco de peso sobre la pieza para evitar que se mueva al momento de vaciar la resina. Para evitar que se pegue permanentemente a la resina es necesario encerarlo con la cera automotriz.

NOTA IMPORTANTE

Para que no nos falle, hay que ponerle plastilina al tapón, si lo dejamos así, al momento de verter la resina esta se meterá por debajo y llegara a los agujeros de los tornillos, lo que no queremos.



Figura 69



Figura 70



Figura 71



Figura 72



Figura 73

En la figura 74 se presenta como deberá de quedar el disco ya con la resina seca y la pieza correctamente centrada, la cantidad de catalizador para esa cantidad de resina es muy poco, unos cuantos gramos, puede ser 1/8 de gotero y se revuelve muy bien la resina con el catalizador, por alrededor de 3 minutos.



Figura 74

MOLDE DE MADERA PARA EL ESTATOR.

Piezas y material a utilizar:

- 3 placas cuadradas de madera de 15" x 15" y 1/2" de espesor
- 5 tornillos de 2.5" de largo y 1/4" de diámetro con tuerca corrida
- 5 tuercas de 1/4" y 10 arandelas planas de 1/4" y 10 arandelas grandes
- 10 Pijas para madera de 1" de largo
- Taladro eléctrico
- Brocas para madera de 1/4"
- Caladora eléctrica y repuesto de sierra
- Lápiz y goma
- Cinta métrica
- Compás
- Película desmoldante o cera automotriz
- Lijas para madera
- Desarmador plano y de cruz

NOTA IMPORTANTE

Cuando compres la madera, o si es que ya la tienes, evita que tenga numerosos nudos, esos puntos más oscuros sobre la madera, además de verse mal, causan debilidad en la madera. Solo utiliza madera blanca y sin nudos.

Las tres placas de madera 1/2 " serán la parte superior (TAPA), central (CENTRO) e inferior (BASE) del molde, mientras que a la parte central del molde es donde se verterá la resina y funcionará como geometría para darle forma al estator.



Figura 75

Asegurémonos que la madera que tengamos cuente con la mínima cantidad de resina (manchas oscuras) y de nudos (círculos en color café) posibles. Lo mejor es comprar madera de triplay como la mostrada en la figura 75 y 76. Se van a cortar de este tramo tres placas de 15" x 15" (38cm x 38cm) las cuales deben ser planas y sin nudos y lo más limpias posibles.



Figura 76

Se toma la madera y se dibuja la primer línea de 15in de largo por 15in de alto (*BASE*), este paso lo repetiremos después para la segunda (*CENTRO*) y tercera placa (*TAPA*) de madera.



Figura 77

Se hacen los cortes correspondientes a las tres placas con serrucho, con segueta o con caladora eléctrica, según sean nuestras herramientas, como se muestran a continuación en las siguientes figuras:



Figura 78



Figura 79



Figura 80



Figura 81

Se acomodan las tres placas para poder hacerle un corte en una esquina que funcione como marca para saber después en qué forma deben encajar las 3 placas y que mantenga una posición de ensamblado fácil de reconocer. Con unas pinzas de presión o unos perros se presionan para que no se salgan de su posición y se hace el corte, no debe ser muy ancho, pero si suficiente para poder ver cómo van, como se ve en la figura 84:



Figura 82



Figura 83



Figura 84

Es recomendable que le pongamos una etiqueta a las placas, para poder saber cómo ensamblarlas además se recomienda cortar un pedazo de la madera de cualquier esquina y marcar con un plumón como se muestra en la figura 84.



Figura 85

Las placas deberán de estar limpias y pulidas correctamente para evitar que se pegue la resina al verterla en la madera (previamente tratada con cera automotriz o película desmoldante), pues tienen que quedar totalmente planas entre sí, para evitar que se cuele por los espacios abiertos. Una vez que se tienen las placas cuadradas limpias y pulidas se proseguirá a encontrar el centro de éstas mediante diagonales dibujadas desde cada arista, como se ve en la siguiente figura:



Figura 86

Primeramente se toma la placa con la letra A y se le dibujarán cuatro círculos de 2 ½", 4", 8", 11.5" y 12.5" de diámetro. Esta placa será la placa BASE. Toma el compás y con una regla mide las medidas de los círculos y dibújalos en la madera. Entre los círculos de 4" y de 8" servirán de referencia para colocar los embobinados correctamente en el área delimitada entre ellos. En su punto central taladra un orificio de ¼". Al hacer todo esto el resultado deberá quedar parecido a la figura 87.

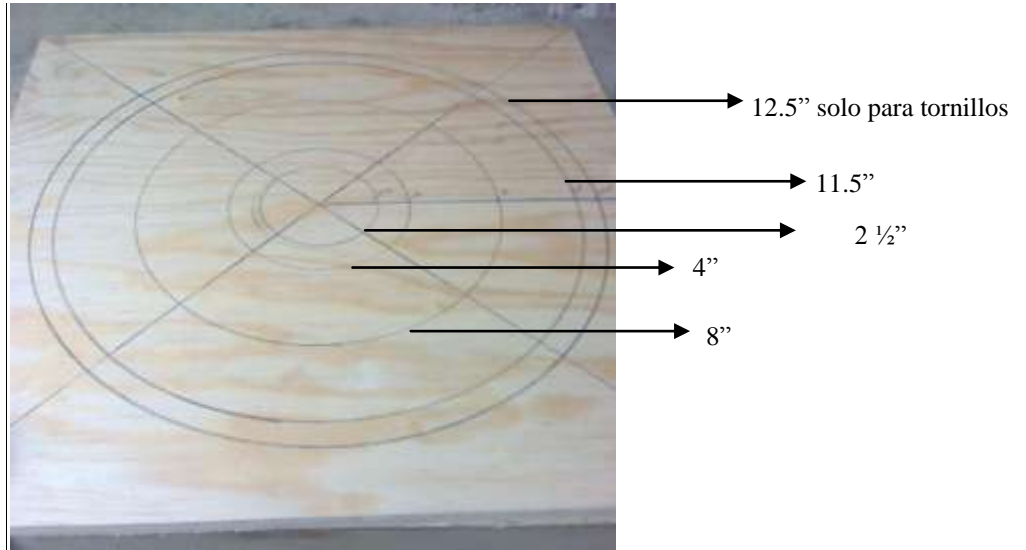


Figura 87

Ahora procederemos a tomar la placa marcada como B (*CENTRO*). Esta será el centro de nuestro ensamble para fabricar el estator y es muy importante avanzar lento pero seguros en esta parte debido a que la calidad de nuestro estator depende mucho de cuánto tiempo le pongamos a la fabricación de esta pieza. El círculo de 2 ½" (de la placa *BASE*) sirve de guía, pues sobre este va pegado un círculo pequeño de madera de la misma medida, donde hicimos el primer orificio y que pasa por el, hay que guardar el círculo que recortemos de la placa del *CENTRO* mas adelante.

Se dibujarán dos círculos, uno de 11.5" y otro de 12.5" que sera solo de referencia para colocar las pijas para madera; en el círculo de 11.5", se van a agregar a la circunferencia un rectángulo de 1.5" x 2" como esto será hueco, este espacio se llenará después con resina, y es en estas "orejas", como se ven en la figura 89, es donde se harán los huecos donde se pondrán los tornillos de sujeción del estator al plato principal. Se deberán de marcar los agujeros a 45° con respecto a los agujeros del ensamble en la figura y después servirán para apretar el ensamble de placas como se muestra en la figura 88.



Figura 88

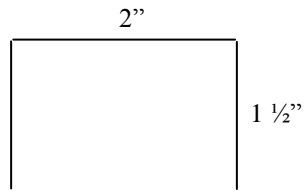


Figura 89



Figura 90

Aquí se muestra la placa con el dibujo de lo que vamos a cortar. Se puede apreciar la circunferencia de 11.5" y las orejas auxiliares.



Figura 91

En esta foto se muestra la cantidad de madera que vamos a quitar de la placa B. Hay que ser muy cuidadosos, pues podemos astillar o quitar más madera de lo recomendado. Hay que hacerlo de una manera lenta y meticulosa. Ahora cortamos la placa con ayuda de agujeros auxiliares



Figura 92

Con ayuda de un agujero auxiliar podemos introducir la herramienta de corte, ya sea una segueta o un serrucho. En este caso se utilizó una caladora eléctrica. Al momento de acercarnos al corte, es recomendable dejar una banda de error, pues es más fácil pulir que reparar la madera en caso de que se presente un error de corte. El corte con la caladora reduce sustancialmente el tiempo, pues se adapta a las curvas con facilidad. Los cortes se deben hacer lo más exactos posibles, para que la calidad del estator



Figura 93



Figura 94

La forma de las orejas puede ser al gusto, aunque se recomienda que sean cuadradas. En la figura 94 se muestra que el corte está lejos del centro del rectángulo que servirá como oreja para que sostenga al generador, por lo que no interferirá al momento de hacer el orificio en la resina una vez que el estator sea desmoldado, aunque podemos hacerle la forma que queramos, mientras que ocupe todo el centro.



Figura 95

De esta forma deberá quedar el centro del molde del estator, como en la figura 96. Las esquinas y el interior deben ser pulidas para evitar dejar puntos de contacto donde la resina pueda quedar atrapada, dificultando la extracción del estator posteriormente. Una buena lija para madera y unos minutos dedicados a lijar la madera nos reducirán muchos problemas después.



Figura 96



Figura 97



Figura 98

Junta las dos placas con las que se ha trabajado y deberán verse similares a la figura 99.



Figura 99

Cortando con cuidado ambos círculos de la placa. Lo que utilizaremos a continuación es la sección remanente del corte y el círculo pequeño. Se muestra en la siguiente figura 100.



Figura 100



Figura 101

Alinea los centros previamente marcados de las placas y taladra un hoyo de $\frac{1}{4}$ " que coincida con ambos.



Figura 102



Figura 103



Figura 104



Figura 105

Una vez realizado esto, se deberá de encontrar y marcar el centro de la tercera placa, alineándolo para que quede centrado a las primeras dos placas. Después de esto, se presan para evitar movimientos del ensamble, y así taladrar en las tres placas los 4 agujeros hechos en la primera placa por donde pasarán los tornillos.

A continuación se presenta en la figura 106 como deberá de quedar el ensamble de las tres placas de madera, y abajo en la siguiente figura como quedan unidas las primeras dos mediante las pijas para madera y por donde pasan los tornillos que apretarán las tres placas.



Figura 106



Figura 107

Inserta los tornillos en los 8 hoyos circunferenciales y el hoyo central, en la placa del *CENTRO*. Estos tornillos servirán para cerrar el molde y con las tuercas y arandelas prensar la placa superior y extraer los excesos de resina si es que nos excedemos. En la placa superior deberá de hacerse un corte para que salgan los cables de las conexiones de las bobinas y el exceso de resina, cuando vaciamos de más.

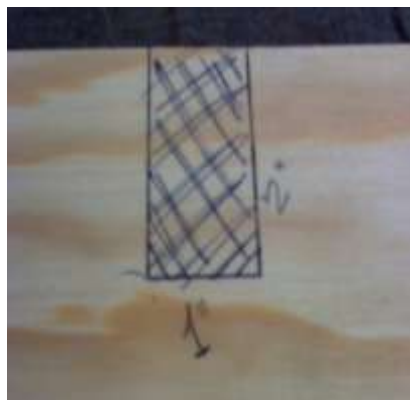


Figura 108



Figura 109



Figura 110

El corte deberá de hacerse entre dos de los agujeros que previamente hicimos que son guía para los tornillos de ensamble, sobrepasando los círculos previamente hechos de 11" y 12.5" de diámetro. Después unimos la base del molde y la placa superior con los tornillos y tuercas de ensamble. El resultado deberá de quedar similar a la figura 111.



Figura 111



Figura 112



Figura 113



Figura 114

De esta manera, podemos presentar las tres placas del molde del estator. La preparación para esta madera es dejarla con una delgada capa de cera automotriz, esto hará que la madera brille un

poco, o bien, usar película desmoldante y dejar una película delgada sobre las caras que tendrán contacto con la resina poliéster y dejar secar por cuatro horas a la sombra.



Figura 115

MAQUINA PARA HACER LAS BOBINAS.

Piezas y material a utilizar:

- 2 Plantillas para forma T de la bobina
- 3 Tornillos de 2.5" por ¼" de tuerca corrida
- Un esparrago de 10" de largo por 5/16" de diámetro
- 6 Tuercas para esparrago de 5/16"
- Cuerpo de la máquina para hacer bobinas
 - Dos trozos de madera de 2.5" por 3.5"
 - Dos trozos de madera de 7" por 2.5"
- Tubería de cobre de ½" de largo con diametro interno mayor a ¼"
- Taladro
- Brocas para madera de ¼" y 5/16"
- 6 Pijas para madera de 1" de largo
- Caladora electrica o segueta
- Lápiz
- Cinta métrica
- Pegamento amarillo

Primeramente se hacen agujeros de 5/16" en los rectangulos más grandes, como se muestra en la figura 116. Ahora se ensambla la base del embobinador con los cuatro rectangulos y los 5 tornillos como se muestra en la figura 116. Es necesario hacer una manija para hacer girar el eje y de esta manera hacer los embobinados, aunque en realidad se me hace mejor y más fácil controlarlo con la mano que con la manivela. Se puede realizar la manija con una barra de aluminio, algunos tortornillos y tuercas, pero puede ser realizada con cualquier material disponible.



Figura 116

No es necesario invertir mucho esfuerzo ni dinero en esta parte, ya que lo importante es hacer girar el eje con la suficiente fuerza para que los embobinados queden suficientemente unidos.



Figura 117



Figura 118

Es posible hacer las bobinas solamente con la mano y tomando toda la estructura de madera, pero es cuestión de gustos, es decir, no necesitamos la palanca, aunque para algunos es más fácil que sin ella.

NOTA IMPORTANTE

Es necesario pegar con pegamento blanco o amarillo las piezas de madera, además de poner pijas para mantener la rigidez de la máquina. Usa el pegamento con cuidado y con equipo de seguridad.



Figura 119



Figura 120



Figura 121

Ahora utilizaremos los 2 círculos de 3.5" de diámetro y ½" de espesor para hacer el formador de bobinas. En la figura 122 se presenta el diagrama de los agujeros que se deberán hacer a ambos círculos (las medidas están en pulgadas).

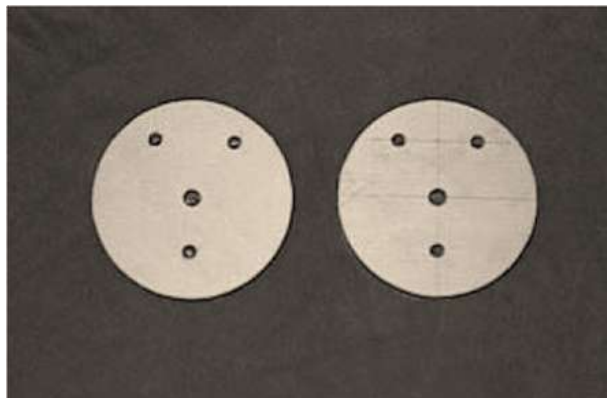


Figura 122

Después de esta etapa lo que sigue es cortar ambos círculos en forma de "T", para esto no es necesario demasiada exactitud, presentando las medidas recomendadas para los cortes en la figura 123 y en la figura 124 como deberán quedar las piezas.

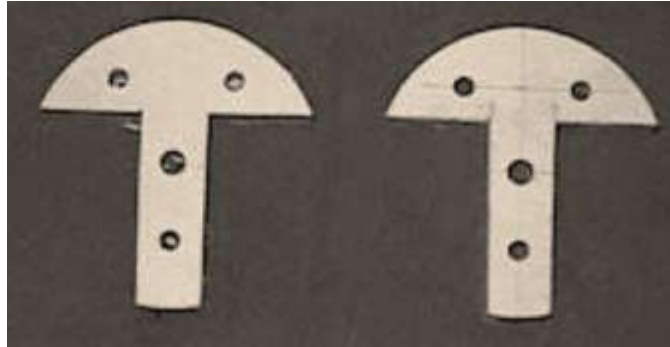


Figura 123

Lo único crítico en esta etapa es que los agujeros estén correctamente alineados, ya que de esto depende que el embobinado en forma triangular quede bien. Una vez que esto esté terminado, el siguiente paso es fijar una "T" por el hoyo central al eje, ajustándolo fuertemente al eje. Para ello se pueden utilizar arandelas y tuercas. Esta parte de la madera puede ser un poco suelta, no es necesario que quede muy apretada, por lo que podemos hacer el orificio un poco más grande.

Además se insertaran los tornillos de 2.5" de longitud de $\frac{1}{4}$ " en los otros tres agujeros, seguidos de los separadores de $\frac{1}{2}$ ". La máquina embobinadora deberá parecerse en este momento a la figura 124.

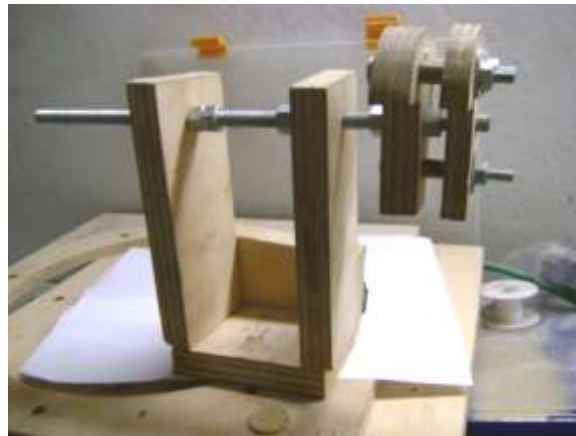


Figura 124

Los separadores de $\frac{1}{2}$ " estarán entre las dos piezas de madera en forma de "T" y servirán para sacar de manera más sencilla los embobinados, colocan en los tornillos. En la figura 125 se presentan unos separadores de tubería de cobre, que pueden ser también de tubería de cobre.

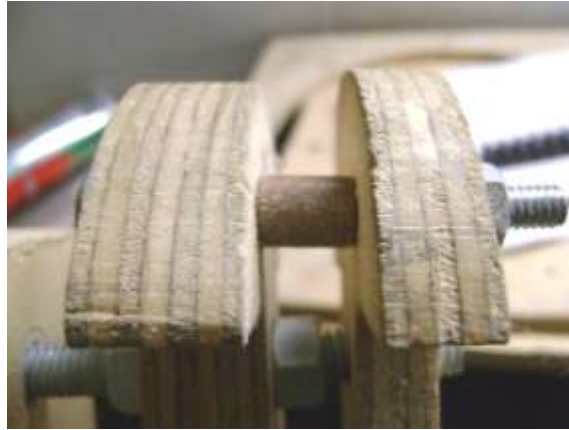


Figura 125

Ajusta la otra “T” al ensamble con tuercas estándar, no de seguridad y deben ser apretadas a llegue, es decir, solo con la fuerza de la mano. Este último elemento será removido al terminar cada bobina al estar lista. Para facilitar esta tarea se recomienda que los tres agujeros pequeños sean agrandados ligeramente. Al finalizar esa sección la máquina de embobinados deberá ser similar a la figura 126.

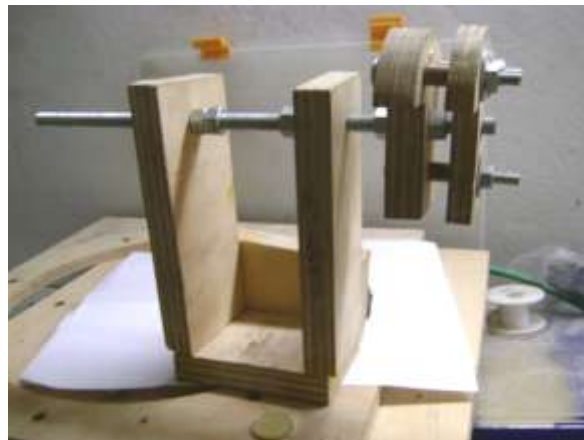


Figura 126

Al embobinar el cable es recomendable fijar la máquina a una superficie estable, como una mesa o algo similar con una prensa o unas pinzas de presión, de tal manera que te puedas sentar y trabajar de manera cómoda, ya que nos vamos a tardar haciendo 9 bobinas, cada una de 9 metros de alambre de cobre magneto.

EMBOBINADO.

Piezas y material a utilizar:

- Alambre de cobre 14 AWG
- Cinta canela.
- Pinzas para cortar alambre.
- Máquina para bobinas.
- Martillo de hule.

Para generar 500 W a 14 V se requerirán 60 vueltas por bobina. Es importante recalcar que hay que poner especial cuidado en el espesor de las bobinas, ya que si son muy gruesas podrían no caber en el estator, esto pasa cuando no jalamos el alambre de cobre al hacer las vueltas, pues queda muy flojo, es por eso que hay que mantener el alambre de cobre. Para empezar se toma un extremo del alambre y se hace un doblé recto de 6" como se muestra en la figura 127.

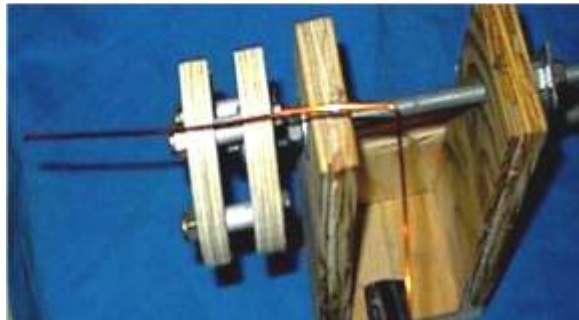


Figura 127

Se toma el cable poniéndolo debajo de la "T", seguido por un giro en el cable sobre la tuerca externa como se ve en la figura 128, para evitar que se mueva el alambre al embobinar.

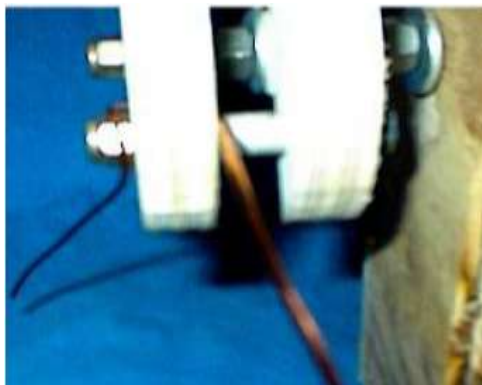


Figura 128

Después simplemente se empieza por enrollar la bobina por capas, aproximadamente de 6 a 7 vueltas por capa. Una vez completa la primera capa deberá verse similar a la figura 130. Las capas deben quedar una arriba de otra, y deben quedar alineados el alambre con la madera, hay que

evitar irse chueco o de lado, pues entonces quedará mal la bobina, y se tendrá que volver a realizar.

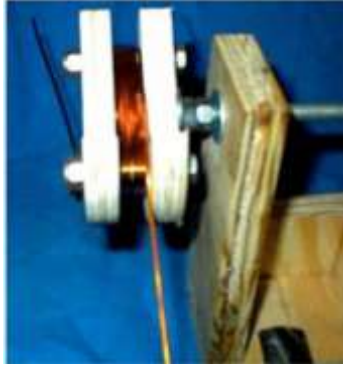


Figura 129

Ya que se completaron 60 vueltas en la bobina se utiliza un poco de cinta adhesiva en los lados de la bobina para evitar que el alambre se mueva. Se prosigue por hacer un corte al alambre, dejando al menos 6" para unir los cables en la siguiente etapa. En la figura 130 se presenta como deberá verse la bobina con la cinta adhesiva.



Figura 130

Ahora se sacará la "T" exterior del arreglo, para poder sacar la bobina terminada, como se ve en la figura 131.



Figura 131

El siguiente paso es repetir el embobinado 8 veces más, terminando con 9 bobinas, colocándolas en la base del molde como se muestra en la figura 132.



Figura 132

En este momento se puede ver si las bobinas cabrán en el molde o no. Es posible que exista un poco de arqueamiento en los lados de la bobina, como se ve en la figura 133.



Figura 133

Se requiere desensamblar ambas "T" de la maquina, dejando únicamente los 3 tornillos laterales con sus respectivos separadores y tuercas, como se presenta en la figura 134.



Figura 134

Toma el martillo de hule y golpea suavemente por ambos lados, solo suficiente para eliminar el arco de las bobinas. Se recomienda tener especial cuidado ya que si se golpea de más se podrían deformar las bobinas demasiado. En la figura 135 se presenta una fotografía de cómo golpear la bobina con el martillo de hule.



Figura 135

El arreglo de las nueve bobinas deberá quedar como se observa en la figura 136:



Figura 136

CONEXIÓN ELECTROMECAÁNICA DE LAS BOBINAS.

El arreglo eléctrico es tipo estrella, en la figura 137 se presenta un diagrama de la conexión.

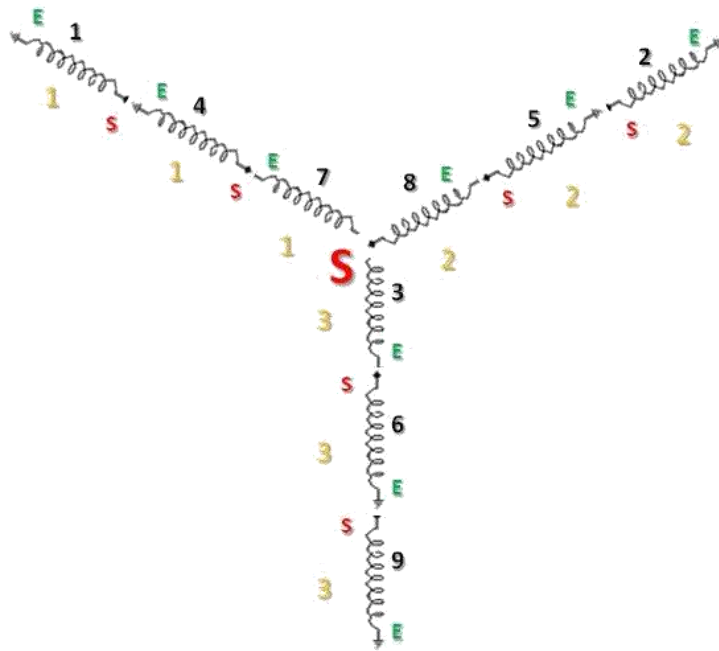


Figura 137

Puede ser un poco intimidante ver todos los cables por primera vez. Pero si se siguen los pasos cuidadosamente no deberá de haber ningún problema.

Se recomienda marcar con colores diferentes las fases, como se muestra en la figura, y de esta manera no hacer conexiones erróneas, de tal manera que para la fase A o para el primer tercio de bobinas, escogeremos el rojo, para la segunda fase escogeremos el negro y para la tercera fase escogeremos el azul.

Una vez marcadas las fases lo siguiente será unir las bobinas, para esto se recomienda unir primero una fase, revisando las conexiones hechas en cada paso y después hacer las fases siguientes. Al momento de revisar las conexiones es importante medir la continuidad, ya que de esta manera podemos encontrar fallas que podrían causar problemas más adelante.

Se requerirá doblar los cables y acomodarlos por la parte superior de las bobinas.

Es recomendable unir los cables a la mitad de distancia entre bobinas, ya que de esta manera se cuenta con suficiente cable de ambos lados para facilitar la unión. El cobre magneto está recubierto con un esmalte dieléctrico que evita que se toque físicamente cobre con cobre en cada vuelta. Lo primero que vamos a hacer recortar el alambre de cobre de la bobina para que todos estén del mismo tamaño, recomiendo que se dejen 10 cm de largo.



Figura 138

Una vez que están recortadas todas las puntas de las bobinas, se lija el esmalte del alambre para dejar el cobre vivo, como se muestra en la figura 139.



Figura 139

Es importante quitar todos los remanentes de protección, ya que de esta manera la soldadura será más resistente.



Figura 140

Una vez que se tienen los cables limpios se utiliza una tablilla Legrand como se muestra en la figura 141, para usar los conectores individualmente como se muestra:



Figura 141

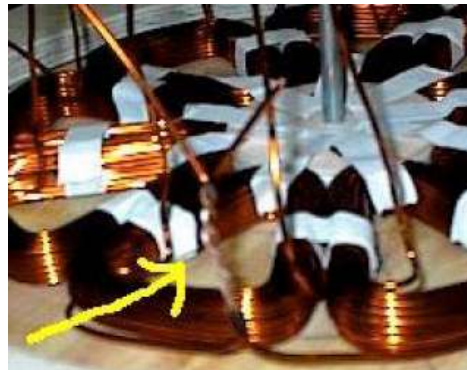


Figura 142

Para empezar a conectar las bobinas, empezamos por la fase A. La fase utiliza el color rojo. Se alinean las bobinas para que todas tengan el inicio y el fin de la bobina en un mismo sentido, de tal manera que queden las nueve bobinas de la misma forma. Numeraremos de acuerdo a la figura 143.



Figura 143

Los números correspondientes a 1, 2 y 3 son las fases del alternador. Lo primero que vamos a realizar es escoger el primer trío de bobinas, como vemos en la figura 144.

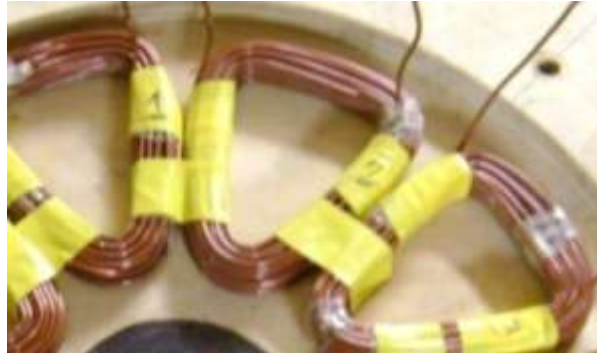


Figura 144

Dejaremos los principios de las bobinas solas, es decir, el primer alambre de la bobina, y para la primera fase, la A, el final de la primera bobina se conecta con el principio de la 4ta bobina, es decir, la bobina marcada con el 1 del siguiente trío.



Figura 145

Después de que estén correctamente unidos se le pone soldadura, en caso de que no tengamos tablillas Legrand, y se continúa con la siguiente conexión. Una vez terminadas todas las bobinas de la primera fase se mide continuidad entre los dos extremos. El mismo procedimiento se sigue para otras dos fases siguientes.

La resistencia por el alambre de cobre magneto que estamos utilizando debe de tener valores entre 0.5 y 0.7 Ohm, en caso de que nos muestre un valor mucho mayor a este, quiere decir que una de las conexiones no está haciendo un buen contacto, y tendremos que revisar cuidadosamente cada una de las conexiones, volver a pelar bien si quedo esmalte, y apretar muy bien con la tablilla Legrand.

TIP

Es muy importante que queden bien apretadas las uniones en la tablilla Legrand y que los alambres no tengan esmalte en el punto de su unión. Me ha pasado que no me he dado cuenta por no tener a mi alcance un multímetro para medir su resistencia y continuidad, lo que después se traduce en un alternador con fases caídas, es decir, la fase que está mal conectada, presente un voltaje notoriamente menor, lo cual hace que el alternador sea desechable.

Ya que se completaron las tres fases deberá salir de cada fase un cable de como el que se muestra en la figura 147. A los tres cables de fin se les quitará la protección, seguidos por una limpieza con papel lija para finalmente unirlos y soldarlos.



Figura 146

Siendo los tres alambres de fin el punto neutro de nuestra conexión en estrella. El resto de las uniones deberá acomodarse de tal manera que queden los cables lo más pegado de la circunferencia del estator, ya que se harán hoyos para unir el estator con el soporte del estator que se hizo previamente. Y si se llegara a dañar un cable el generador quedaría inservible. El arreglo deberá quedar similar a la figura 147.

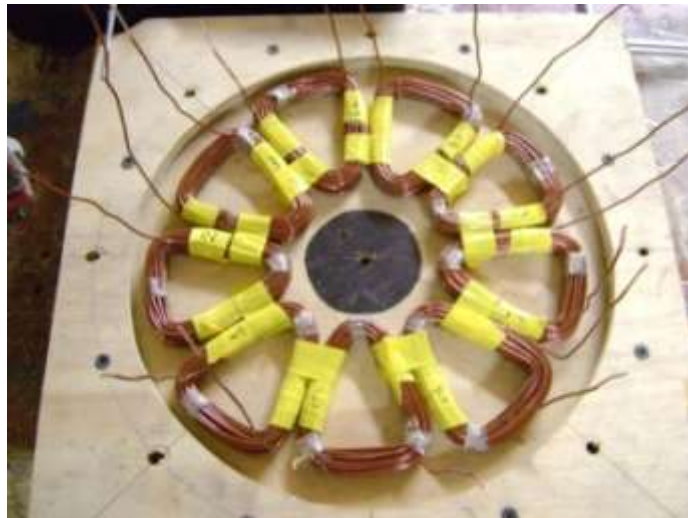


Figura 147



Figura 148

FABRICACIÓN DEL ALTERNADOR.

Piezas y material a utilizar:

- Cera de automóvil o Gel Coat.
- Resina de poliéster preparada
- Exacto
- Tela de fibra de vidrio
- Lija fina
- Molde de placas de madera
- Bobinas previamente conectadas
- Varilla para batir
- Guantes de latex
- Gafas de seguridad
- Mascarillas desechables

Para verter la resina líquida en el molde, se deberán quitar previamente los embobinados del molde. Para ello se recomienda utilizar la placa superior del molde, poniéndola sobre las bobinas y voltear 180° el arreglo. De esta manera deberán deslizarse las bobinas por el eje central de molde, hasta ubicarse en la tercera placa.

Una vez despejado el molde se aplica cera de automóvil en el molde y en la placa superior del mismo. Esto para evitar que la resina se adhiera a la madera. Es recomendable aplicar al menos una capa de cera, de lo contrario se quedaría pegada la madera a la resina. Apliquemos una capa gruesa de cera y la vamos a distribuir por todos los rincones del molde de madera teniendo una especial consideración en las partes de las orejas del molde de madera, es decir, en todos los ángulos rectos que encontremos.

Ya que el primer anillo de fibra de vidrio está en posición se ponen los embobinados nuevamente en el molde, teniendo cuidado de no dañar las soldaduras y de que los tres cables finales de las fases queden alineadas con el corte en la placa superior del molde. Una vez que se aplica la cera y se seca, se inserta uno de los anillos de tela de fibra de vidrio, que protegerá los embobinados y se vierten 900 ml de resina esparcida por todo el molde.

Es importante recordar, que el tiempo de solidificación de la resina depende de la cantidad de catalizador que se haya utilizado. La calidad de la mezcla influirá directamente en que tan bien quede el estator, por lo tanto es importante mezclar correctamente la resina.



Figura 149



Figura 150

NOTA IMPORTANTE

Si tenemos a nuestra disposición un gotero, vamos a llenar la botellita y vamos con el catalizador, y vamos a vaciar $\frac{3}{4}$ partes de la botella. Esto nos dará 8 minutos para poder utilizar la resina, ya que después empezara a solidificarse y no será útil para nosotros.



Figura 151

La resina de poliéster debe estar relativamente nueva. Un signo de la edad de la resina es que cuando ya tiene mucho tiempo en anaqueles, se empieza a solidificar y a parecer como jarabe, es decir, no es tan líquida.

Cuando la resina es nueva, se parece mucho al agua y tiene esa consistencia, por lo que entre menos viscosa este, mejor para nosotros.



Figura 152



Figura 153

El catalizador debe ser usado con cuidado, pues es toxico, así que no debe estar en ubicaciones donde pueda alcanzarlo un niño, también es inflamable, así que debe estar lejos de cualquier fuente de calor.

NOTA IMPORTANTE

La resina no solidifica por sí sola, es necesario que se le mezcle con catalizador. En una ocasión olvide agregar el catalizador, por lo que las bobinas quedaron impregnadas con resina pero sin solidificar, por lo que tuve que volver a echar resina y fue una maniobra muy sucia. Es por eso que cuando vertamos la resina debemos estar muy concentrados.

A continuación se vierte suficiente resina en el molde para cubrir completamente las bobinas, como en la figura 154.



Figura 154

Se pone el segundo anillo de tela de fibra de vidrio como se observa en la figura 155.



Figura 155

Se agrega el restante de resina por todo el molde teniendo en cuenta las orejas del alternador, la parte interior de las bobinas. El segundo anillo de fibra de vidrio se empapa también con un poco de resina y procedemos a tapar el molde y a apretar con los tornillos.



Figura 156



Figura 156

El tiempo que tardará la resina en curarse depende de la cantidad de catalizador usado, así que se recomienda esperar al menos 4 horas para desmontar el molde. Hay que tener cuidado al desmontar el estator ya que si se daña el molde no podrá utilizarse de nuevo. Para desmontar el estator, recomiendo separar las tres partes de madera que hacen el molde, es decir, quitar todas las pijas para madera y separar la parte central que es donde está el estator:



Figura 158



Figura 159



Figura 160



Figura 161



Figura 162



Figura 163

Una vez que el estator esta fuera del molde se prosigue a hacer los hoyos para atornillarlo a su base. Para esto se fija con pinzas la placa del estator sobre el estator y de esta forma taladran los hoyos de la base del estator en el estator.

En esta etapa es necesario prestar especial cuidado en no dañar con el taladro las bobinas, ya que quedaría inservible el estator. Las orejas que le dejamos sirven perfectamente para poder taladrar los agujeros para poder sostenerlo del plato principal. Hagamos los agujeros de $\frac{1}{4}$ " lo mejor posible.

ENSAMBLE DEL ESTATOR CON EL ROTOR.

Piezas y material a utilizar:

- Platos con imanes
- Estator
- Soporte principal
- Eje
- Tornillos galvanizados
- Tuercas de seguridad
- Espaciador de aluminio
- Collarín
- Separador
- Rondanas de presión
- Rondanas planas

En la figura 164 se presenta el ensamble del generador de manera gráfica.

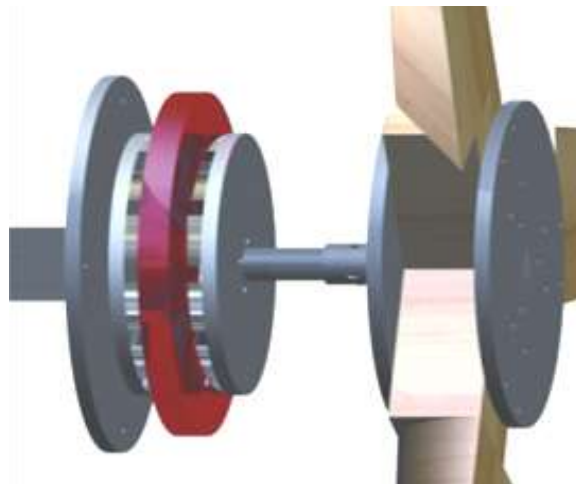


Figura 164

Para empezar a armar el aerogenerador, debes anclar muy bien el poste principal a una mesa de trabajo o al suelo, porque no es posible hacerlo sin que los platos de imanes se encuentren en posición horizontal, todo por seguridad.

Vamos a insertar el eje de manera que entre correctamente en el primer rodamiento y con unos golpes leves vamos a empezar a introducirla al segundo rodamiento, cuando el eje salga por detrás del asiento de rodamientos lo agarramos con el collarín, que tiene de ancho $\frac{1}{2}$ ", y apretaremos fuertemente con una llave Allen de $\frac{3}{16}$ ", este collarín evitará que por el movimiento circular se quiera salir el eje del asiento de rodamientos.

Desliza el primer plato con imanes por el eje hasta que llegue al tope que esta maquinado en la flecha, al primer plato se insertan cuatro tornillos por la parte posterior que están arreglados para que entren por arriba del tope del eje, es decir, con ayuda de una pulidora hay que rebajarle una

cara al tornillo, tal como se muestra en la figura 166, seguido por el separador de los platos de imanes de aluminio.



Figura 166

El separador de los platos de imanes debe hacer un contacto fuerte con el primer plato de imanes, por lo que recomiendo tener una pieza de aluminio y darle unos ligeros golpes al separador de los platos de imanes para que se ajuste, a este se le agregan arandelas de presión que son las que van ajustando los discos de imanes y al mismo tiempo las que lo mantienen en su posición.



Figura 167



Figura 168



Figura 169

La parte posterior de los tornillos se ajusta al espaciador de aluminio, de tal manera que facilita el ajuste de las tuercas frontales, como se ve en la figura 169. Es necesario para esto que lijemos una de las caras hexagonales de los tornillos, haciendo esto para los cuatro tornillos, como se aprecia en la figura 166.



Figura 170

Ahora se coloca otra tuerca al mismo tornillo, pero una tuerca de seguridad, que debemos meter al revés de cómo está físicamente, a fin de tener más área de contacto, de manera que necesitamos por cada agujero del plato principal un tornillo, una arandela de presión, cuatro tuercas estándar, 8 tuercas de presión y 8 arandelas planas.

Ahora se acomoda el estator sobre las arandelas. Se muestra en la figura 171 como queda antes de apretar el estator definitivamente. Hay que asegurarse que la dirección de los cables que salen de estator apunte al poste principal. En este momento su ensamble deberá ser similar a la figura 172.



Figura 171



Figura 172



Figura 173

En este momento se pone un pedazo de madera apoyado al estator para evitar que al poner el segundo disco magnético, la fuerza de atracción de los imanes cause algún accidente, dejando un claro entre el estator y tu mano, para evitar machucones.

Alineando las marcas de los imanes en el segundo disco magnético con el primero, se inserta lentamente y con mucho cuidado el estator. En todo momento se debe de tener control de ambos discos ya que las fuerzas magnéticas podrían causar que los discos se desalineen. Al terminar se inserta una rondana, seguida por una última tuerca, en cada varilla roscada. Al haber hecho todo esto el ensamble debe verse similar a la figura 174.



Figura 174



Figura 175

Una parte crítica del generador es la ubicación del estator con respecto a los discos rotores.



Figura 176

Para ello es necesario que el estator se encuentre exactamente entre los discos, de igual manera es importante que exista una distancia entre el estator y los discos para evitar el desgaste por fricción, es muy malo que rocen los discos de imanes en el estator, así que debemos evitar a toda costa que rocen.



Figura 177

Debido a que dejamos las tuercas de seguridad y las arandelas a propósito, una forma de mover el estator es moviendo las tuercas con las rondanas planas en los tornillos. Se recomienda tener cuidado de no forzar mucho el estator, ya que se podría quebrar la resina y se tendría que hacer un nuevo estator en caso de que no se pudiera recuperar la oreja.



Figura 178



Figura 179



Figura 180



Figura 181



Figura 182

SISTEMA DE ORIENTACION Y DESVÍO.

Piezas y material a utilizar:

Número	Cantidad	Nombre	Conjunto	Material	Anexo
7	1	Soporte Triangular	Desvío	A-36	B
8	1	Soporte Veleta Desvío	Desvío	A-36	B
9	1	Tubo Veleta Desvío	Desvío	Galvanizado	B
10	1	Tubo largo Veleta	Desvío	Galvanizado	B
11	1	Sujetador Veleta	Desvío	Ángulo (Riel)	B
12	1	Plantilla Veleta de Madera	Veleta	Papel	B

Tabla 04 Sistema de orientación y desvío

Localiza las piezas antes mencionadas para poder iniciar el ensamble del sistema de orientación y desvío. Véase figura 183.



Figura 183

El soporte triangular ya está soldado previamente con el soporte tubo veleta, que está soldado en conjunto al poste principal a 45 grados del centro del plato principal.

Empieza por soldar la unión del Tubo Veleta Desvío con el Tubo Largo Veleta, por la parte superior del tubo. Suelda con cuidado porque la pared del tubo es delgada, y si dejamos el electrodo mucho tiempo es muy posible que traspasemos el tubo debido al material fundido. El ensamble de desvío se deberá ver como se muestra en la figura 184.



Figura 184

Una vez soldado, es necesario soldar al Tubo Largo Veleta el Sujetador de la veleta, para esto usaremos un riel, o un escuadra como se conoce de 1" de ancho como se muestra en la figura 185, al final del Tubo Largo Veleta. Es recomendable que cuando se vaya a soldar, se coloque todo el conjunto y luego se ajuste para que quede perpendicular al suelo.



Figura 185

FABRICACIÓN DE ASPAS DE MADERA.

Piezas y material a utilizar:

- Tablas de madera de pino (madera horneada y sin nudos)
- Lija de grano grueso y fino para la lijadora eléctrica
- Formón de 1"
- Serrucho, segueta y caladora eléctrica
- Martillo de goma
- Martillo metálico
- Cepillo para madera
- Mascarillas desechables
- Gafas de seguridad



Figura 186



Figura 187

En esta sección se explicará el procedimiento para hacer un aspa, por lo tanto se necesita repetir las actividades para hacer tres aspas. Primero se divide la tabla de madera en cinco secciones iguales y se numeran las estaciones como se muestra en la figura 188.



Figura 188

Ahora se marca en cada estación el ancho del aspa como se muestra en la figura 189. Una los puntos para hacer líneas en cada sección. Hecho esto se corta con un serrucho, una segueta o una caladora eléctrica la sección marcada. De igual manera se nombra una estación como raíz (le colocamos el numero 1) y una estación como punta (le colocamos el numero 5) para facilitar el seguimiento de las instrucciones.

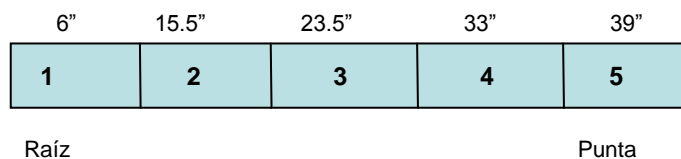


Figura 189

Ya que lo hayamos numerado, en la punta haremos una marca midiendo desde la parte alta como indica la figura a 2.5" y desde la segunda sección (numero 2) trazaremos una línea recta que empiece desde lo bajo de la sección dos hasta la línea de 2.5" en la sección 5. Se deberá ver como la figura 190.

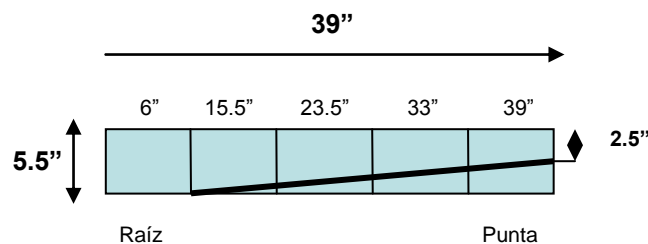


Figura 190

Si la madera tiene un nudo o una parte rota, este es el momento para poder quitársela, pues este paso es fundamental para que el aspa quede bien.



Figura 191

El aspa queda marcada como se ve en la figura 191, y se traza una línea recta desde la punta hasta la raíz, después con la ayuda de una caladora eléctrica, una segueta o un serrucho se quita la parte que esta rayada, como se aprecia en la figura 192.



Figura 192



Figura 193



Figura 194



Figura 195

Aquí ya apreciamos que quitamos la parte sombreada del paso anterior. Ahora nos queda marcar el aspa como vamos a indicar un poco más adelante.

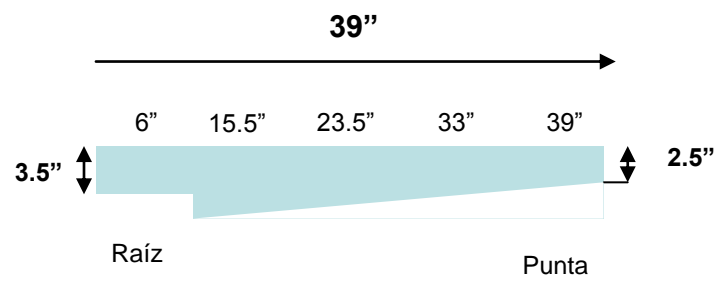


Figura 196

Las mediciones que hay que marcar a continuación se muestran en la siguiente tabla:

TODAS LAS MEDICIONES CON LA RAIZ A MANO DERECHA

Sobre el Leading Edge

Con el hueco de la raíz hacia arriba. Medida de arriba hacia abajo.

	Sección	Distancia	Cuerpo del aspa
Raíz	1ra sección	38.1 mm	1 1/2"
	2da sección	38.1 mm	1 1/2"
	3ra sección	15.5 mm	3/4"
	4ta sección	11.6 mm	1/2"
Punta	5ta sección	10.0 mm	1/4"

Sobre el Trailing Edge

Con el hueco de la raíz hacia abajo. Medida de abajo hacia arriba.

	Sección	Distancia
Raíz	1ra sección	38.1 mm
	2da sección	22.32 mm
	3ra sección	15.5 mm
	4ta sección	11.6 mm
Punta	5ta sección	10.0 mm

Tabla 05 Mediciones de las secciones del aspa tipo Lenz

Vamos a formar parte de la raíz, para lo cual hay que recortar de la primera sección una porción de la madera equivalente a 2" por 6", que es el rectángulo marcado con xxxxxx mostrado en la figura 197, quedando en 3.5" de ancho por 6" de largo, como observamos:



Figura 197



Figura 198



Figura 199



Figura 200

Una vez cortada la madera, apoyamos sobre el Leading Edge que, es decir, con el hueco de la raíz hacia arriba y marcamos como vimos anteriormente en la tabla las 4 secciones faltantes. Acuérdate que las mediciones se dan con la raíz hacia la mano derecha y se hacen de arriba hacia abajo, teniendo cuidado en marcar bien las secciones.



Figura 201



Figura 202

Se unen los puntos para hacer líneas en cada sección con ayuda de una regla T o un pedazo de madera plano. En este caso utilizamos el serrucho.



Figura 203



Figura 204



Figura 205

Se da la vuelta a la madera 180 grados y ahora está sobre el Trailing Edge, en este lado, solo es una medición por sección, pero la medición está hecha de abajo hacia arriba, empezando por la raíz,

que siempre debe estar a nuestra mano derecha.

Ahora con mucho cuidado se hacen pequeños cortes que vayan desde las líneas marcadas en el trailing edge, hasta la parte superior del leading edge. Excepto en la segunda sección donde no se llega al leading edge. La caída, así como los límites se muestran en la tabla 05. Se recomienda hacer los cortes espaciados media pulgada entre sí, es decir, la medida de tu dedo gordo de la mano. También es recomendable usar únicamente el cepillo para madera en las últimas dos secciones ya que la profundidad de los cortes es muy poca.



Figura 206

Del lado de la raíz, se hace un dibujo que tenga dos centímetros de altura, pegado a la raíz, es decir, el cateto opuesto del triángulo que se mira en la figura 206, y de ahí se traza una línea recta al trailing edge, quedando el triángulo de esa manera. La parte de arriba es la que se va a ir y es el ángulo en el cual se debe meter la segueta.

Una vez hechos los cortes se procede a marcar el espesor del aspa. Para ello se harán marcas en las seis estaciones y en ambos bordes. En la figura 207, se presentan los espesores en cada borde.



Figura 207

Lo que sigue por hacer es cortar de borde a borde las nuevas medidas de los espesores. Una vez que hayas hecho esto, lo siguiente quitar todos los pedazos de madera con un formón y martillo.



Figura 208



Figura 213

Vamos quitando la madera conforme a las marcas que hemos hecho en los costados de la madera, con la ayuda de una segueta y un formón, vamos haciendo los cortes.

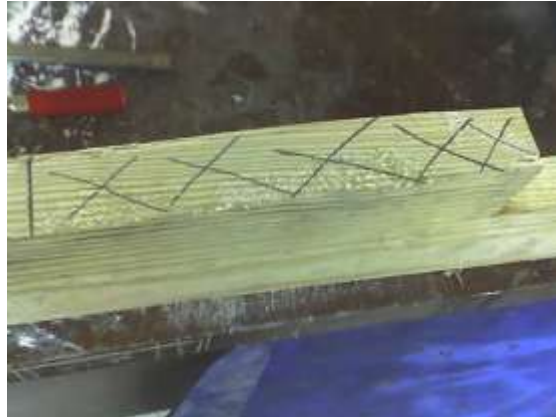


Figura 214

Empezamos marcando del lado contrario al corte de la raíz. La caída al empezar la segunda sección es de 1 ½" y las marcas con "xxxx" es la cantidad de madera que se va a remover.



Figura 215



Figura 216



Figura 217



Figura 218



Figura 219



Figura 220



Figura 221

Ya que hayas quitado el exceso de madera el aspa deberá verse similar a la figura 209.



Figura 222



Figura 223

Ahora ya que se tiene una sección rectangular a lo largo de las aspa, lo que sigue es hacer el perfil aerodinámico. Para ello se mide la cuerda en cada sección y se hacen marcas al 30% y al 50% del total de la cuerda en cada estación, midiendo desde el borde guía.

La figura 166 muestra la sección transversal de aspa. Mostrando de color oscuro lo que tendrá que ser removido con el cepillo para madera. Se recomienda empezar por lo más claro ya que entre las mediadas de 30% y 50% existe muy poca diferencia, pero lo importante es que el punto más grueso deberá de quedar al 30%. En este momento se tratará de lograr una superficie lisa y recta entre el espesor y el borde complementario.

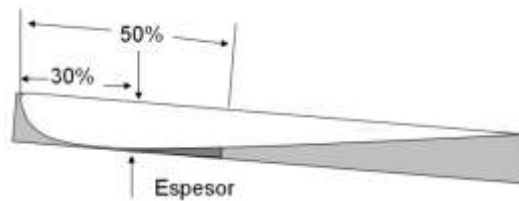


Figura 224

A continuación se presenta una serie de la figura 212 en las que se ilustra el proceso de manufactura de las aspas.

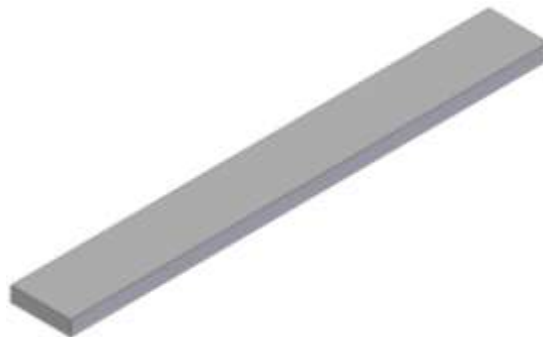
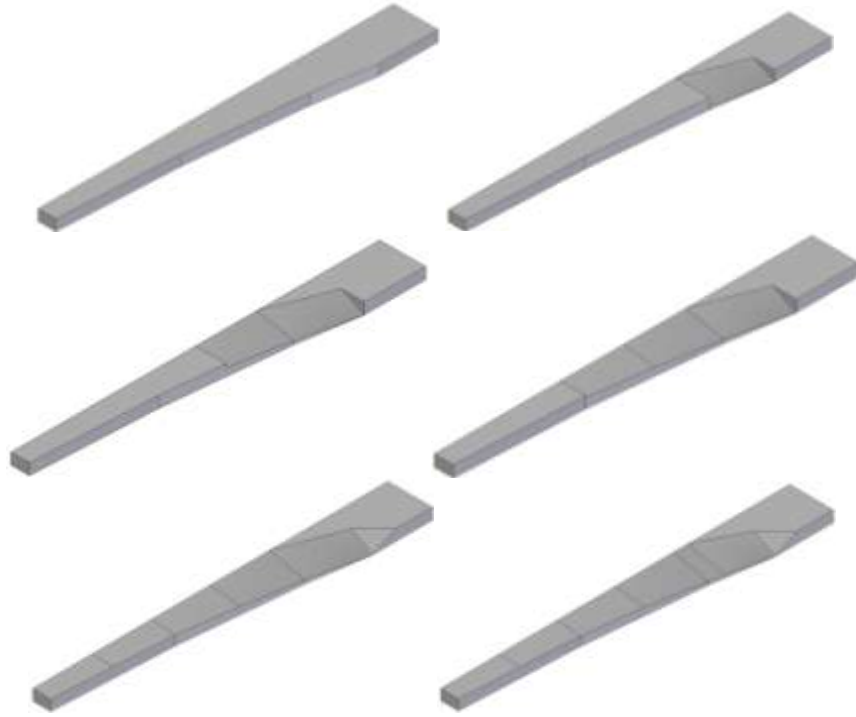


Figura 225

Para la parte de abajo:



Para la parte de arriba:

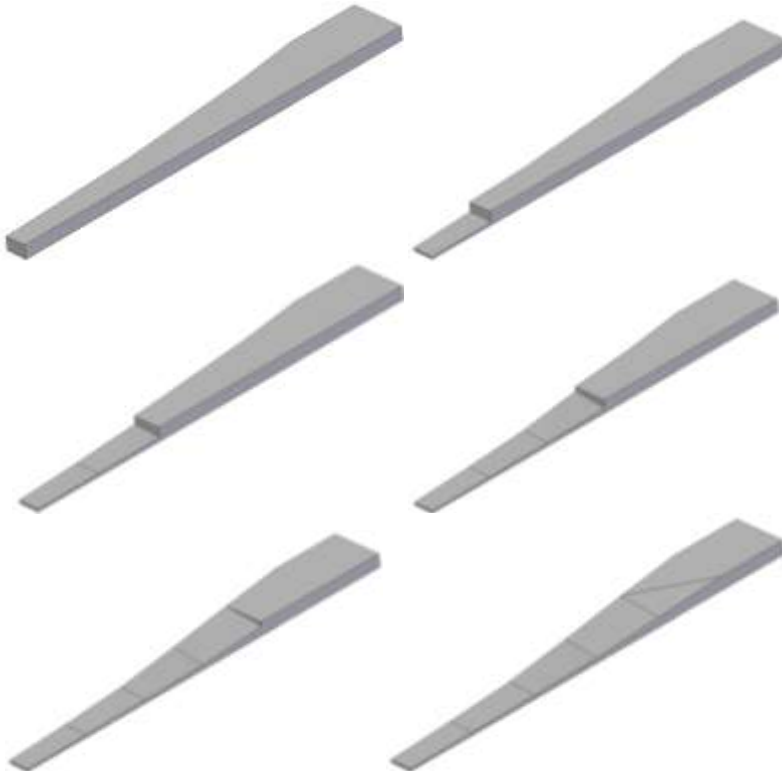




Figura 225

Lo que sigue es hacer dos cortes en la raíz del aspa para facilitar su unión con las otras dos aspas y las placas de rotor. Como la unión de las aspas se debe hacer a 120 grados para que formen una delta, entonces, para que se de este corte hay que hacer los cortes como muestra la figura 222.



Figura 226

UNIÓN DE LAS ASPAS PARA SU ENSAMBLE.

Es importante que la unión de las aspas en la raíz se dé a 120° aproximadamente; para esto debemos hacer los cortes que se recomiendan en la imagen abajo para que ensamblen muy bien.

Esta precisión ayudará también a evitar que exista vibración excesiva a alta velocidad.

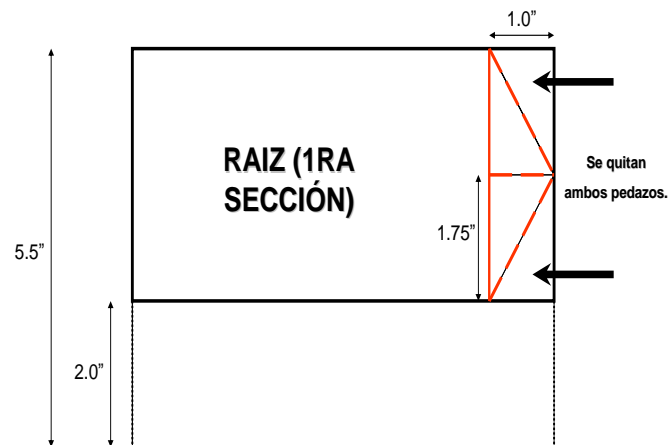


Figura 227

Ahora procederemos a hacer los agujeros a las aspas de madera y a unir las con los platos del rotor, que a estas alturas deben estar pintados, limpios y secos.

BALANCEO ESTÁTICO Y DINÁMICO

Ahora vamos a hacer algo diferente, no tan complicado pero que nos va a tomar un poco de tiempo para realizar.

Ya que montamos el rotor a los platos y apretamos fuertemente los tornillos, ahora debemos balancear el rotor. Debido a que en campo no podemos contar con una maquina que haga balanceo dinámico de manera fácil, hemos encontrado que encontrando un punto del balanceo estático, es posible aminorar de manera importante el desbalance de las aspas al estar girando.

Para empezar hay que instalar las aspas en una estructura que tenga libre un eje de 1 pulgada, justo como el orificio de los platos de las aspas. Se asegura con dos collarines y una cuña del tamaño apropiado, para que no exista movimiento relativo entre los platos y el eje y que se ajuste perfectamente para poder transmitir el par de las aspas.



Figura 228



Figura 229



Figura 230

El peso de la plastilina debe ser pesado en una báscula, puede ser digital como en la foto o grancanaria, es decir, de pesas. El total debe ser igual a la tornillería que debemos colocar a las aspas.



Figura 231

Por lo regular, a 8" de la punta, se debe poner el peso que por aproximación, vemos que va siendo efectivo, es decir, un peso con el cual las aspas no se mueven para ningún lado cuando las ponemos en una posición en específico.



Figura 232

Al final, el peso de la plastilina se cambia por su equivalente en un tornillo, una arandela de seguridad y varias arandelas planas. El orificio que necesitamos hacer debe ser pequeño, para evitar comprometer el funcionamiento de las aspas, y la rosca deberá quedar por detrás del perfil, para evitar el acumulamiento de vórtices en la superficie del aspa.