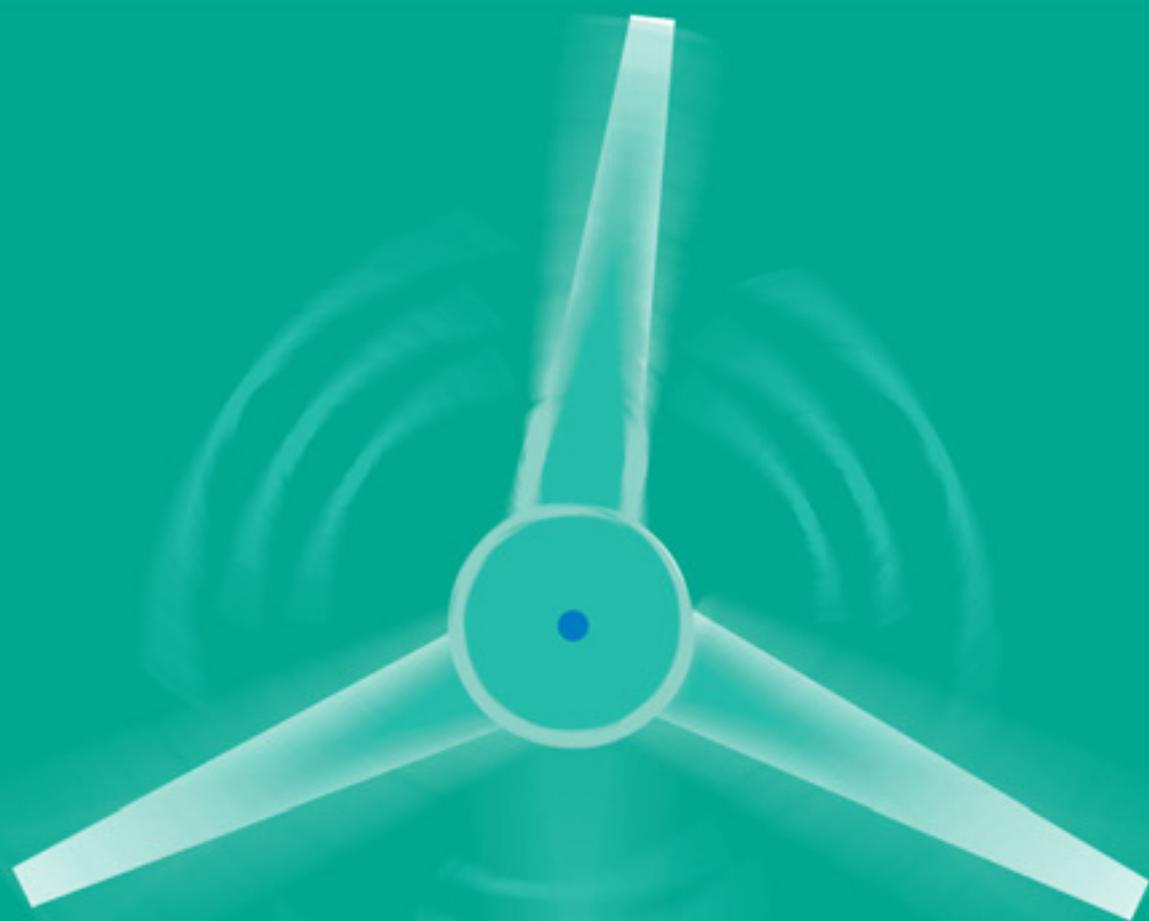


MICROAEROGENERADOR IT-PE-100 PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL



MICROAEROGENERADOR *IT-PE-100*

PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL

Chiroque, José

Microaerogenerador IT-PE-100 para electrificación rural / José Chiroque, Celso Dávila. — Lima: Soluciones Prácticas - ITDG; 2008

75 p. : il.

ISBN N° 978-9972-47-151-3

ENERGÍA EÓLICA / TECNOLOGÍA DE LA ENERGÍA / GENERACIÓN DE ENERGÍA / TURBINAS / BIODIÉSEL / TECNOLOGÍAS APROPIADAS / CONSTRUCCIÓN / MANUALES / ENERGÍA ELÉCTRICA/

244/ Ch61

Clasificación SATIS. Descriptores OCDE

ISBN N° 978-9972-47-151-3

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2008-05833

Primera edición: 2008

©Soluciones Prácticas - ITDG

Razón social: Intermediate Technology Development Group, ITDG

Domicilio: Av. Jorge Chávez 275, Miraflores, Lima 18, Perú. Casilla postal: 18-0620

Teléfonos: 444-7055, 446-7324, 447-5127 Fax: 446-6621

E-mail: info@solucionespracticas.org.pe <http://www.solucionespracticas.org.pe>

Autores: José Chiroque, Celso Dávila

Revisión: Oliver Marcelo, Javier Coello

Corrección de estilo: Dante Oliva, Jaime Vargas

Coordinación: Alejandra Visscher

Diseño y diagramación: Johnny Sánchez, Jorge McGregor

Carátula: Jorge McGregor

Supervisión gráfica: Leonardo Bonilla, Carmen Javier

Impreso por: Forma e Imagen

Impreso en el Perú, mayo del 2008

TABLA DE CONTENIDO

PRÓLOGO	5
INTRODUCCIÓN	7
I. GENERADOR DE IMANES PERMANENTES	
1.1 Generalidades	11
1.2 Características del generador de imanes permanentes	11
1.3 Rotor	12
1.4 Estátor	12
1.5 Fabricación de los moldes y plantillas	12
1.6 Fabricación del molde para el estátor	12
1.7 Fabricación del dispositivo para la elaboración de las bobinas	13
1.8 Fabricación de la plantilla 01 para la distribución de los imanes	15
1.9 Fabricación de la plantilla 02 para hacer agujeros para el acople de las palas	16
1.10 Gráficos del generador	17
1.11 Materiales para la construcción del generador	18
1.12 Lista de materiales y herramientas para la construcción del generador	18
1.13 Fabricación del generador eléctrico	19
1.14 Proceso de fabricación del rotor	19
1.15 Proceso de fabricación del estátor	25
1.16 Ensamble del generador	29
1.17 Conversión de corriente alterna a continua, y curva de comportamiento del generador con imanes permanentes de neodimio	30
II. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA TURBINA EÓLICA	
2.1 Introducción	33
2.2 Características del rotor	33
2.3 Pala	34
2.4 Datos para la construcción de la pala	34
2.5 Secciones para dar forma a la pala	35
2.6 Construcción del molde	40
2.7 Características de los materiales utilizados	44
2.8 Procedimiento de construcción de una pala	45
III. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL BASTIDOR, LA VELETA Y EL CONO	
3.1 Introducción	51
3.2 Materiales para la construcción del bastidor	51
3.3 Preparación y ensamblaje de los accesorios	52
3.4 Fabricación de la veleta	53
3.5 Cono	54
IV. INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO	
4.1 Introducción	57
4.2 Componentes y accesorios del sistema	57
4.3 Preparación de la estructura	58
4.4 Armado de la estructura y los componentes	62
4.5 Izamiento del poste	67
4.6 Mantenimiento del sistema de aerogeneración	68
V. CONCLUSIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	73

PRÓLOGO

Soluciones Prácticas - ITDG viene trabajando desde 1985 en el Perú. Parte de sus esfuerzos en este tiempo ha estado orientado a ofrecer la posibilidad de acceso a energía eléctrica de calidad y confiabilidad, a las poblaciones más dispersas y pobres del país. La estrategia de Soluciones Prácticas - ITDG se ha enfocado en la superación de las principales barreras que impiden ampliar el uso de las energías renovables como opción viable para las zonas rurales. Una de estas barreras persistentes suele ser el acceso a tecnología apropiada para las condiciones específicas de nuestro territorio y población.

Para ello, Soluciones Prácticas - ITDG ha desarrollado una serie de tecnologías apropiadas adaptadas a las condiciones de nuestro país, poniendo especial énfasis en mantener costos accesibles y sencillez en la operación y mantenimiento de los equipos. Las tecnologías desarrolladas han sido transferidas a pequeños talleres y fabricantes para su producción y comercialización. La mayor parte de las tecnologías desarrolladas han estado dirigidas al aprovechamiento de la energía hidráulica; sin embargo, también se emprendió trabajos orientados al uso de la energía eólica a pequeña escala.

En este sentido, se ha desarrollado y probado un microaerogenerador de 100 W de potencia para uso doméstico, cargado de baterías en zonas aisladas. El modelo diseñado, denominado IT-PE-100, opera en condiciones de vientos bajos a moderados, los más frecuentes en nuestro territorio. Esta pequeña turbina eólica de alta confiabilidad emplea materiales ligeros para las palas, como la resina y la fibra de vidrio, e incluye un generador eléctrico de imanes permanentes desarrollado especialmente para sus requerimientos.

En este trabajo, además del equipo local de Soluciones Prácticas - ITDG, han intervenido investigadores y consultores de la oficina central de esta misma institución en Inglaterra, del Imperial College London y de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), así como profesionales y técnicos de la pequeña empresa Tecnología Energética Peruana (TEPERSAC). Resulta necesario destacar la participación de los especialistas Smail Khenas, Simon Dunnett y Hugo Piggott, de Reino Unido; Sunith Fernando, de Sri Lanka; y Teodoro Sánchez y Celso Dávila, del Perú. Asimismo, se ha contado con el importante apoyo del Department for International Development (DFID) de Reino Unido y del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) del Perú.

Cabe señalar que el microaerogenerador IT-PE-100 es un equipo susceptible de ser mejorado, y por ello mismo deseamos compartir los avances alcanzados hasta el momento, esperando que investigadores e innovadores puedan usarlo de base para mejoras y adaptaciones posteriores. No obstante, con el nivel de desarrollo alcanzado, el IT-PE-100 se encuentra ya en condiciones de constituirse en una alternativa tecnológica accesible y confiable para pobladores rurales asentados en zonas con relativo potencial eólico.

Ing. Javier Coello Guevara
Gerente del Programa de Energía,
infraestructura y servicios básicos
Soluciones Prácticas – ITDG

INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica a pequeña escala, aprovechando la velocidad del viento, constituye una alternativa posible para zonas rurales aisladas y dispersas que cuenten con recurso eólico. Sin embargo, el desarrollo tecnológico de equipos de aerogeneración a pequeña escala no ha tenido el mismo grado de desarrollo que los equipos para mediana y gran escala.

La investigación y el desarrollo tecnológico para equipos de aerogeneración de grandes potencias conectados a red han tenido un avance espectacular en los últimos 15 años, principalmente en países desarrollados y gracias a decididas políticas de promoción. Diferente es el estado de los equipos de aerogeneración de bajas potencias, principalmente orientados para zonas aisladas y por lo general en países en vías de desarrollo, que no han tenido el mismo grado de desarrollo.

Con el fin de contribuir a la promoción y difusión de la aerogeneración a pequeña escala, o microaerogeneración, Soluciones Prácticas – ITDG presenta y comparte los avances logrados en el diseño y la fabricación de un aerogenerador de 100 W, denominado IT-PE-100. Este modelo ha sido adaptado a las características, tanto de demanda energética como de viento disponible, de países como el Perú, donde predominan los vientos moderados y donde el consumo energético en zonas rurales es relativamente bajo.

El trabajo que aquí se presenta se inició en 1998, con un diagnóstico y análisis sobre el tipo de aerogenerador que podría ser más conveniente para zonas rurales aisladas, tomándose como referencia estudios de caso en el Perú y Sri Lanka. Como resultado de la evaluación realizada, se identificó la idoneidad técnica y económica de sistemas eólicos a pequeña escala, desde los 50 W hasta 1 kW. Para el caso del Perú, se definieron las características técnicas y realizaron una serie de recomendaciones para las condiciones existentes en nuestro país: realizar diseños para velocidades de viento bajas a moderadas (4 a 8 m/s), que son las predominantes en el Perú, considerando que casi la totalidad de modelos comerciales en el mundo son diseñados para velocidades altas de viento (mayores a 10 m/s) que solo se presentan en muy pocas zonas del país; así como desarrollar capacidades locales que permitan asegurar la sostenibilidad técnica y el abastecimiento de repuestos a largo plazo, entre otras consideraciones.

A partir de estos estudios se trabajó en el cálculo y diseño de un equipo capaz de operar a velocidades bajas y moderadas de viento, a diferencia de los equipos comerciales disponibles en el mercado, usualmente diseñados para velocidades medias y altas. El resultado fue el aerogenerador modelo IT-PE-100, de 100 W de potencia, orientado para el consumo eléctrico en viviendas rurales, así como para el cargado de baterías. Se tuvo especial cuidado en los aspectos de costos, facilidad la operación y confiabilidad del sistema.

En el año 2000, se instaló el primer prototipo de este microaerogenerador. Luego, hasta el año 2006, se probaron y monitorearon equipos IT-PE-100 en seis diferentes puntos de la costa y andes del Perú, realizándose constantes mejoras en el diseño y la construcción hasta lograr un equipo suficientemente confiable para operar en zonas rurales. Para el año 2007, está prevista la instalación de 40 microaerogeneradores IT-PE-100 en dos localidades rurales ubicadas en la costa y los andes peruanos; estos equipos serán fabricados por la empresa TEPERSAC.

En la actualidad, se continúa con la investigación y mejora de algunos componentes, tales como los mecanismos de protección y regulación electrónica. No obstante, con el nivel de desarrollo actual, el microaerogenerador IT-PE-100 está en capacidad de generar electricidad de manera confiable en zonas con vientos moderados. En la presente publicación se describen y comparten los avances alcanzados en el diseño y la fabricación de este microaerogenerador.

Esta publicación se ha dividido en cuatro secciones: la primera parte aborda el generador de imanes permanentes; la segunda trata sobre la turbina eólica; la tercera, los componentes del bastidor y la veleta; finalmente, la cuarta parte trata los temas de instalación y mantenimiento

del equipo. Esperamos que los conocimientos que compartimos en este trabajo sean de interés y utilidad para estudiantes, profesionales, investigadores, fabricantes y potenciales usuarios de estos equipos de microaerogeneración. De igual modo, la invitación a participar en la mejora de este equipo es abierta y permanente, siempre con el fin de tener mayores y mejores opciones para las poblaciones rurales pobres que carecen de acceso a servicios básicos como la electricidad.

Aprovechamiento de la energía eólica a pequeña escala en el Perú

La velocidad del viento en el Perú ha sido aprovechada principalmente para accionar aerobombas artesanales desarrolladas localmente para el bombeo de agua para uso agrícola. En la década de los años 70, se llegaron a reportar alrededor de 1 100 unidades en el departamento de Piura, y otros 1 500 equipos en el departamento de Arequipa. De igual modo, también se registraron aerobombas en Moquegua, Puno y Lambayeque. El principal aporte en investigación y desarrollo tecnológico de estas aerobombas fue realizado por el Instituto de Investigación Tecnológica y de Normas Técnicas (ITINTEC) en la década de los años 80. Los modelos que actualmente se fabrican y comercializan, aunque en escaso número, se basan en tales diseños.

Respecto a la generación de energía eléctrica aprovechando la energía eólica, se tienen también algunas experiencias concretas. Los primeros avances se realizaron en el año 1983, cuando ElectroPerú S.A. instaló un sistema piloto en la caleta de Yacila, en Piura, con equipos importados marca MP-5 Riva Calzoni de 3,6 kW; posteriormente, en 1986, se instalaron tres sistemas más, marca ISEA, de 10 kW, los mismos que en el año 1991 quedaron fuera de servicio, principalmente por fallas mecánicas y ausencia de técnicos locales que dominaran esta tecnología. En el año 1989, la empresa Canziani S.A. fabricó un modelo europeo de aerogeneradores de 1 kW, denominados Waira en el Perú; un estudio del Ministerio de Energía y Minas del año 1996 reportó 28 unidades instaladas, pero la mayor parte se hallaban fuera de servicio por alguna falla producida por falta de mantenimiento, o por una selección inadecuada del emplazamiento de los equipos. A la fecha no se conoce con exactitud el número de estos aerogeneradores que aún se encuentran operando.

La investigación y el desarrollo tecnológico en aerogeneración en el Perú también fue iniciada y promovida por el ITINTEC, cuyos primeros equipos empleaban alternadores de vehículos que trabajaban a altas velocidades de giro (1 800 rpm) para generar 12 voltios, por lo que el sistema requería de transmisión que dificultaba el diseño, aumentaba el peso y, por consiguiente, aumentaba los costos; estos trabajos no fueron culminados debido a la desactivación de dicha institución.

Investigadores de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) trabajaron entre el año 2000 y el 2003 en el diseño de un sistema para generar hasta 300 W con la operación de un alternador de vehículo, en el diseño de un generador de imanes permanentes para aplicaciones eólicas, así como en avances para un aerogenerador de 1 kW. Este último trabajo fue realizado con la empresa Canziani S.A. Destacan también los trabajos de investigación, capacitación y transferencia de tecnología realizados por la empresa DENERTEC (Diseño-Energía-Tecnología), especialmente en torno a su aerogenerador de 200 W, denominado AG-200. Actualmente, se encuentran desarrollando equipos de 300 y 600 W, denominados WT300 y WT600, respectivamente.

Entre 1983 y 2007 la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), ITINTEC, ELECTROPERÚ, el Istituto per la Cooperazione Universitaria (ICU) de Italia, el MEM y ADINELSA han realizado sucesivos intentos por estimar el potencial eólico nacional en base a mediciones de viento efectuadas por ELECTROPERU, la Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial S.A. (CORPAC) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Según los cálculos de ADINELSA, habría en el país un potencial de 57 mil MW, distribuido en el litoral desde Tumbes a Ancash, y desde Ica a Tacna. En el 2008, el Proyecto Mejoramiento de electrificación rural mediante fondos concursables (FONER) del MEM y el Banco Mundial, debe concluir la preparación de un sistema digital para la evaluación preliminar del potencial del recurso eólico, denominado Viento GIS, y el atlas eólico respectivo.

En el año 2000, el SENAMHI, a través de su Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales, elaboró el siguiente cuadro referencial con fines energéticos:

Tabla: Potencial energético del viento en el Perú

Lugar	Región	Altitud (msnm)	Velocidad media (m/s)	Energía producible (kWh/año)
Tumbes	Tumbes	25	2,6	252
Talara	Piura	50	8,5	4.993
Piura	Piura	46	4,0	642
Chiclayo	Lambayeque	27	5,1	1.281
Trujillo	La Libertad	33	5,0	1.243
Chimbote	Ancash	11	5,5	1.157
Aeropuerto	Lima	13	3,4	507
Laguna Grande	Ica	10	6,5	2.465
Marcona	Ica	31	6,4	2.329
Pta. Atico	Arequipa	20	6,7	2.701
Pta. de Coles	Moquegua	50	5,0	1.223
Tacna	Tacna	452	2,5	363

Fuente: SENAMHI, 2000.

Microaerogenerador IT-PE-100

Este microaerogenerador utilizado ha sido diseñado para adaptarse a las características, tanto de demanda energética como de viento disponible, de países como el Perú, donde predominan los vientos bajos a moderados y donde el consumo energético en zonas rurales es relativamente bajo. Esta pequeña turbina eólica de alta confiabilidad emplea materiales ligeros para las palas, como la resina y la fibra de vidrio, e incluye un generador eléctrico de imanes permanentes desarrollado especialmente para sus requerimientos.

En los siguientes capítulos se comparten los diferentes aspectos de este desarrollo tecnológico promovido por Soluciones Prácticas - ITDG, desde el diseño y fabricación de los diferentes componentes del microaerogenerador, tales como el generador de imanes permanentes, el rotor, las palas, el bastidor, la veleta y el cono, hasta el proceso de instalación y mantenimiento del sistema completo.

Cabe compartir también que, recientemente, en el primer semestre del 2008 se inauguró el primer sistema colectivo de aerogeneración a pequeña escala para electrificación rural en el Perú, instalado en el caserío de El Alumbre, a más de 3 800 metros sobre el nivel del mar, en el distrito y provincia de Bambamarca, en la región Cajamarca. Este sistema consta de 35 microaerogeneradores de 100 W modelo IT-PE-100. Con este sistema se benefician las 35 familias de El Alumbre, así como más de 150 familias de caseríos aledaños que ahora pueden cargar baterías para sus viviendas o incluso las baterías de sus teléfonos celulares en este caserío.

1. GENERADOR DE IMANES PERMANENTES

1.1 Generalidades

En los últimos tiempos, el desarrollo de los imanes permanentes ha tenido un gran avance y, con ello, su empleo en la construcción de máquinas eléctricas de cierto rango de potencias para diferentes aplicaciones, tales como los generadores de imanes permanentes (GIP) para trabajar con turbinas eólicas de pequeña escala. Aquí presentamos el desarrollo del generador usado en la experiencia que Soluciones Prácticas – ITDG viene realizando en el desarrollo del **microaerogenerador de 100 W, denominado IT-PE-100**.

Para la fabricación de un generador con estas características se requiere contar con moldes y plantillas que faciliten el trabajo de construcción. En el presente capítulo se verá, en primer lugar, la definición de los principales componentes que conforman la máquina; luego, se describirá el procedimiento para la fabricación de moldes, plantillas, y los gráficos con las dimensiones del estátor y rotor; posteriormente, se presentará la lista de materiales y de herramientas básicas a utilizar; finalmente, se explica el procedimiento de fabricación del generador en su conjunto.

Una de las recomendaciones que sacamos de nuestra experiencia es que la fabricación de esta tecnología se debería realizar en talleres ya constituidos, que realicen diferentes tipos de trabajos en metal mecánica, ya que no sería rentable tener un taller sólo para construir aerogeneradores, debido a la todavía limitada demanda en países en vías de desarrollo. De igual modo, la fabricación de aerogeneradores a pequeña escala en un taller debe verse como una actividad adicional que puede ayudar a mejorar los ingresos.

1.2 Características del generador de imanes permanentes

Este es un generador eléctrico de corriente alterna trifásica (AC) de bajo voltaje. La corriente es transformada a corriente continua (DC) mediante diodos rectificadores, con la finalidad de que la energía pueda ser almacenada en baterías. El generador eléctrico es de forma geométrica tipo disco, diseñado para trabajar específicamente con turbina eólica, y tiene dos componentes principales: rotor y estátor.

Para su construcción hemos empleado materiales que se encuentran disponibles en el mercado local, tales como: acero, conductores eléctricos, resina, fibra, rodamientos. Por el momento, lo que no se encuentra disponible en el mercado peruano son los imanes permanentes con las características requeridas, por lo que, para subsanar el impase, deben ser importados generalmente de China.

Para la construcción del generador se requiere contar con los siguientes elementos: planos al detalle, moldes, plantillas y conocimientos en metal mecánica. Para la fabricación, a su vez, se sigue un procedimiento simple, pero se requiere que un taller cuente con herramientas básicas.

1.3 Rotor

Este dispositivo conforma la parte externa del generador. Es fabricado en plancha de acero de 6 mm de espesor y construido en dos partes, que son rotor frontal y rotor posterior; asimismo, sobre la superficie de cada uno son adheridos los imanes permanentes por medio de una capa de resina. Cada rotor se apoya en un rodamiento, y es atravesado por un eje estático que forma parte del estátor. La foto N° 01 muestra el generador semiensamblado.

1.4 Estátor

Es la parte interna del generador, de características geométricas tipo disco, fabricado con una mezcla de resina poliéster, fibra de vidrio y talco industrial. Alrededor van distribuidas las bobinas donde se arma el circuito eléctrico. En el centro del estátor hay un eje hueco, por cuyo interior salen los cables eléctricos hacia el exterior, los cuales irán a la caja de diodos.

Una vez terminada la construcción de las piezas, se realiza el armado del conjunto, ubicando al estátor en el centro de los dos rotores. Para un cerrado hermético se coloca alrededor una platina de acero con soldadura, con lo que el generador queda totalmente sellado.

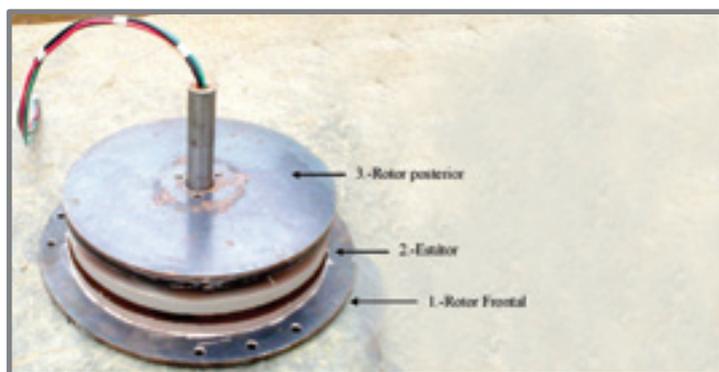


Foto N° 01: Generador semiarmado, con dos rotores y estátor en el centro
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

1.5 Fabricación de los moldes y plantillas

Para la fabricación del generador hemos requerido preparar un molde, para el estátor; también, una plantilla, para la distribución de los imanes en los discos del rotor; asimismo, otra plantilla, para hacer los agujeros para el acople de las palas con el generador. Todo esto nos facilitará la construcción del generador cada vez que sea requerido.

1.6 Fabricación del molde para el estátor

El tamaño del molde es determinado de acuerdo con las dimensiones y número de bobinas que conforman el estátor, tanto como con las dimensiones del rotor; a su vez, el molde puede hacerse en madera, o aluminio. La foto N° 02 muestra la forma del molde que se ha utilizado; el gráfico N° 01 muestra la distribución de las bobinas y las dimensiones que se han utilizado para la fabricación del mismo.



Foto N° 02: Molde de aluminio del estátor
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

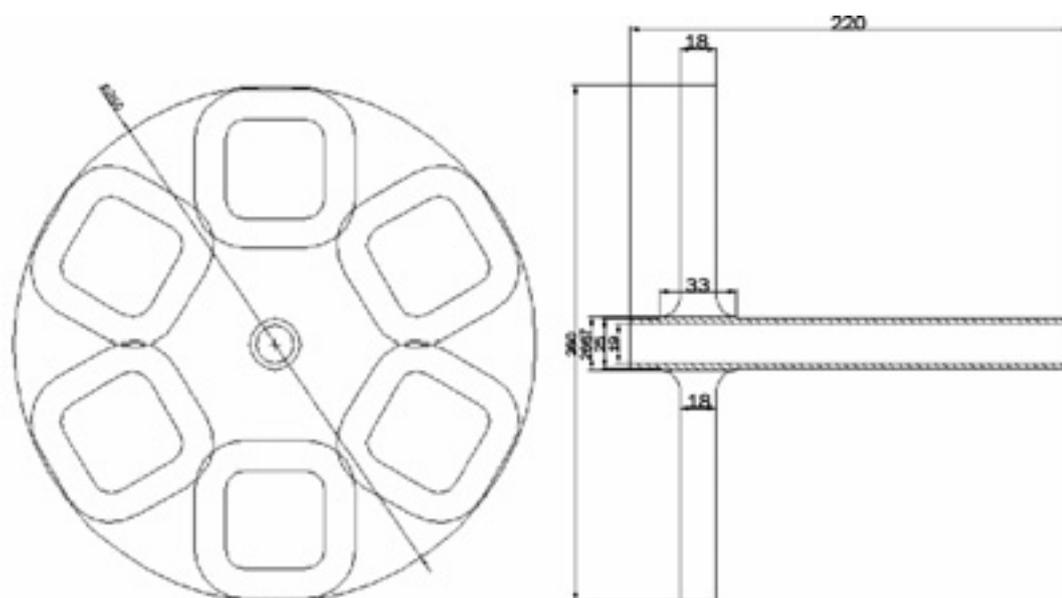


Gráfico N° 01: Medidas del estátor
Fuente: Elaboración propia / Soluciones Prácticas – ITDG

1.7 Fabricación del dispositivo para la elaboración de las bobinas

Para dar forma geométrica a las bobinas, según el diseño que se ha determinado, se requiere de un dispositivo con la forma de las espiras, en este caso las espiras que conforman las bobinas son cuadradas de 50 x 50 mm. El dispositivo que se ha construido para ello es de *triply*, conformado por cuatro piezas, dos tipo H, una de forma cuadrada de 50 x 50 x 20 mm y una manivela que une todas las piezas. Las dimensiones se muestran en el gráfico N° 02; la foto N° 03 muestra el molde completo.

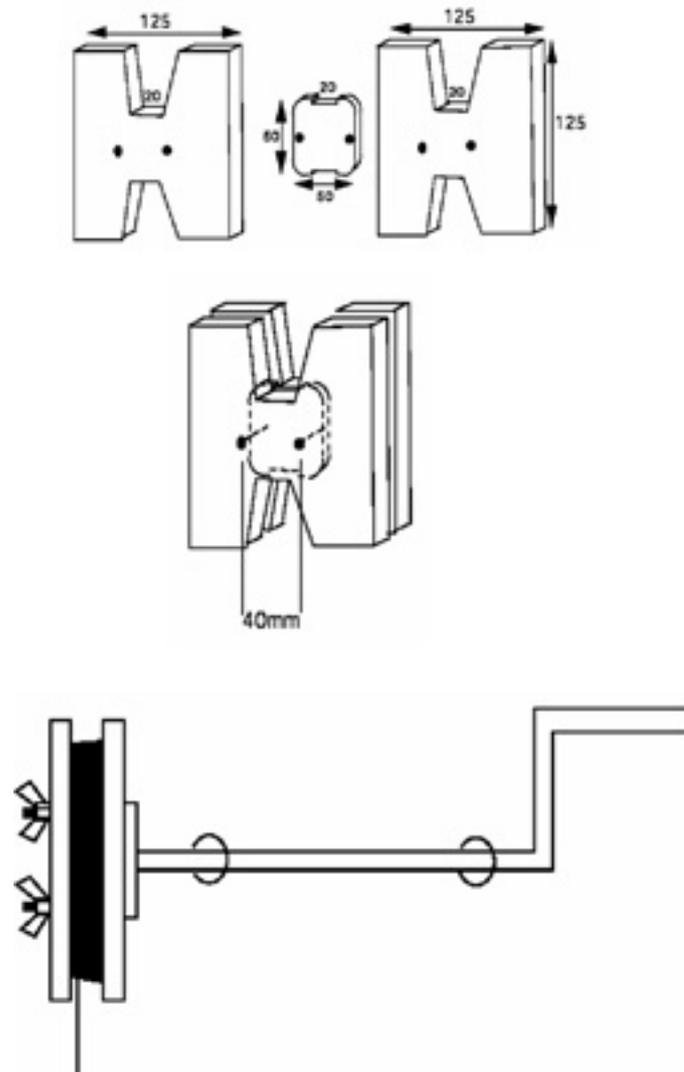


Gráfico N° 02: Partes del molde para las bobinas
Fuente: Convenio internacional dirigido por la oficina Practical Action en el Reino Unido.



Foto N° 03: Molde de las bobinas armado, listo para construir las bobinas.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

1.8 Fabricación de la plantilla 01 para la distribución de los imanes

Para la colocación de los imanes en la superficie de los discos del rotor se requiere de una plantilla, la cual puede ser preparada de cartón grueso u otro material similar. Para ello se requiere un cuadrado de 335 x 335 mm. Para llevar esto a cabo son necesarios los siguientes materiales y útiles:

- Cartón grueso u otro similar de preferencia,
- compás,
- regla,
- lápiz, y
- tijera.

En nuestro caso, para su construcción, se han ejecutado los pasos que detallaremos a continuación.

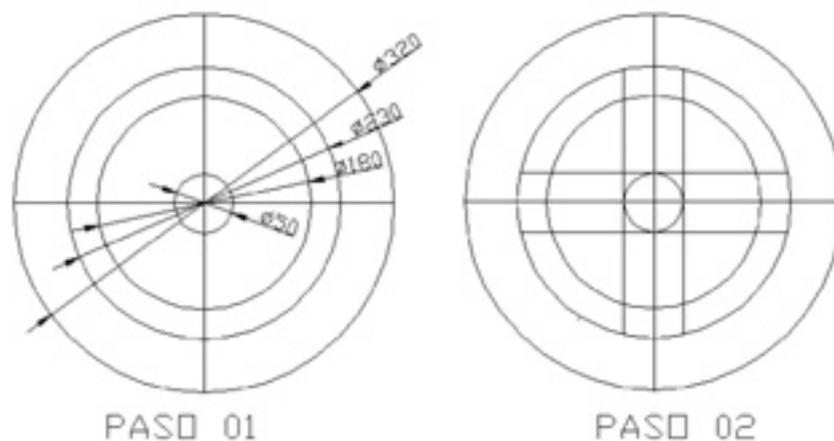
Paso 01

Sobre la superficie del material elegido para la construcción de la plantilla, trazar los ejes coordenados aproximadamente en el centro; la intersección deberá ser el centro de las circunferencias, desde donde se debe marcar –con un compás– cuatro círculos con los siguientes diámetros (ver gráfico N° 03):

- Una circunferencia de diámetro de 320 mm,
- una circunferencia de diámetro de 230 mm,
- una circunferencia de diámetro de 180 mm y
- una circunferencia de diámetro de 50 mm.

Paso 02

La circunferencia de 50 mm representa el ancho del imán que se usa para este caso específico. Por esta circunferencia, trazar las tangentes verticales y horizontales (ver gráfico N° 04).



Gráficos N° 03 y 04: Trazos de las circunferencias (izquierda). Tangentes de la circunferencia (derecha).

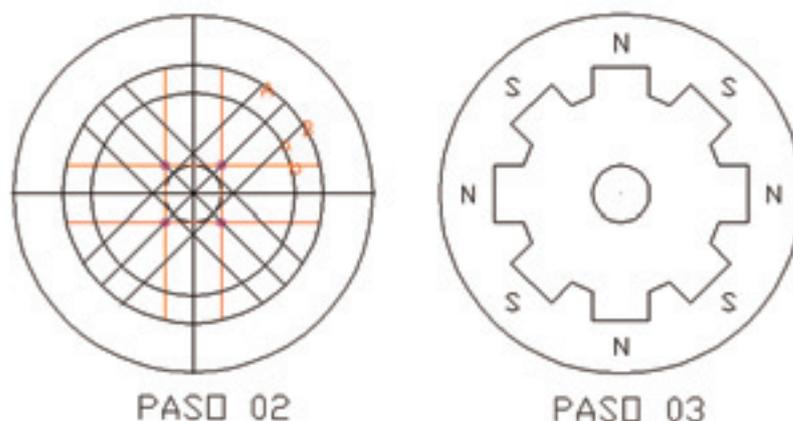
Fuente: Elaboración propia / Soluciones Prácticas – ITDG

Paso 03

Como resultado del paso 02 tenemos un cuadro de 50 x 50 mm marcado con puntos. En este cuadrado, debemos trazar las diagonales hasta la circunferencia de 230 mm de diámetro y, luego, trazar las tangentes diagonales a la circunferencia de 50 mm (gráfico N° 05).

Paso 04

En este paso, trazamos una línea que une los puntos A y B, a y b, para todas las tangentes, para luego cortar el cartón en todos estos puntos y tener la plantilla (ver gráfico N° 06).



Gráficos N° 05 y 06: Ocho diagonales de circunferencia de 50 mm (izquierda).
Plantilla para la distribución de imanes (derecha).
Fuente: Elaboración propia / Soluciones Prácticas – ITDG.

1.9 Fabricación de la plantilla 02 para hacer agujeros para el acople de las palas

Las palas van acopladas en forma equidistante alrededor del generador, por medio de pernos. Para hacer los agujeros de estos pernos, se requiere preparar una plantilla que permita tener una mejor precisión en la perforación. Esta misma plantilla también deberá ser utilizada para hacer los agujeros en la base de las palas, lo que nos asegura que todos los agujeros coincidan de la manera más exacta posible.

Para la realización de esta plantilla, se requieren de los mismos materiales y útiles que hemos requerido para la anterior. A continuación, se presentan los puntos seguidos para su construcción.

Paso 01

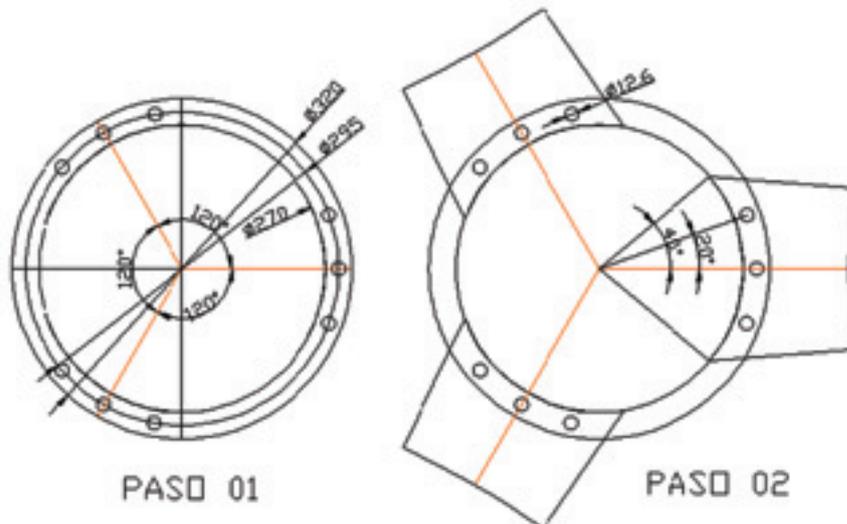
Sobre el pedazo de cartón grueso, u otro material similar, de 330 x 320 x 3 mm, trazar los ejes coordenados en el centro. Desde este punto, trazar tres circunferencias con los siguientes diámetros:

- 320 mm,
- 295 mm y
- 270 mm.

También es necesario trazar ángulos de 120°. En el gráfico 07, las líneas de color naranja que tienen puntos en la circunferencia de un diámetro de 295 mm son los centros de la base de cada pala.

Paso 02

Tomando como bisectrices las líneas de color naranja que dividen a la circunferencia en ángulos de 120° (ver gráfico N° 8), tracemos líneas hacia ambos lados, con ángulos de 20°. En la intersección de la circunferencia de 295 mm de diámetro, debemos hacer agujeros con broca de ½"; luego, usando una cuchilla, hacer el corte de la plantilla (ver gráfico N° 08).



Gráficos N° 07 y 08: Esquema para la plantilla (izquierda)
 Agujeros para el acople entre el generador y las palas (derecha)
 Fuente: Elaboración propia / Soluciones Prácticas - ITDG.

1.10 Gráficos del generador

Los gráficos N° 09 y 10 muestran las dimensiones del generador -donde el estátor está en el centro separado por 1 mm de los discos-, así como las características del rodamiento.

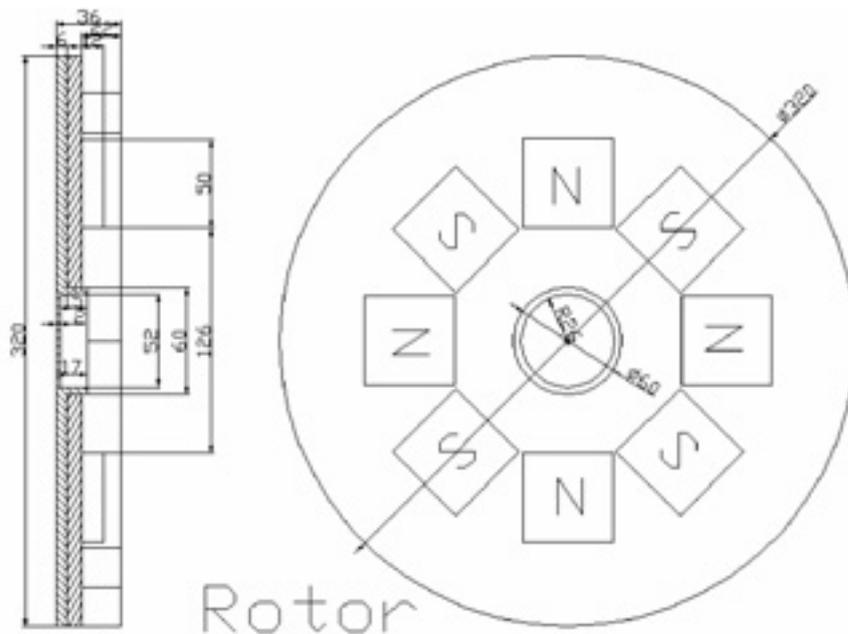


Gráfico N° 09: Medidas del rotor.
 Fuente: Elaboración propia / Soluciones Prácticas - ITDG.

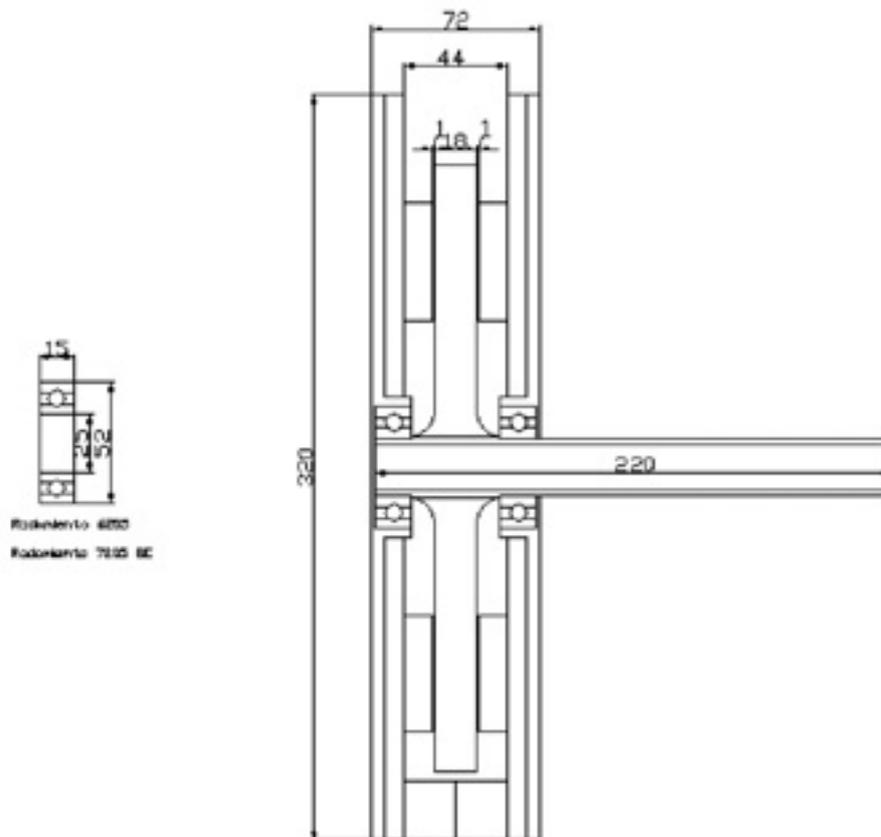


Gráfico N° 10: Medidas del generador
Fuente: Elaboración propia / Soluciones Prácticas - ITDG.

1.11 Materiales para la construcción del generador

Para la fabricación de un generador se requiere de diferentes materiales, cuya compra se puede hacer con las dimensiones especificadas en los gráficos, aunque resulta más económico conseguir piezas completas y estándares; por ejemplo, se puede comprar un plancha completa de acero, con dimensiones 2 400 x 1 200 x 6 mm, y usar lo necesario –y, de igual manera, proceder así en la compra de los demás materiales. Esto debe estar en concordancia con el número de equipos que se vaya a fabricar, tanto como del uso que se puede hacer en fabricar otro tipo de piezas, pudiendo de esta forma disminuir sus costos de fabricación.

1.12 Lista de materiales y herramientas para la construcción del generador

A continuación, presentamos los materiales necesarios utilizados para la fabricación del generador:

- Plancha de acero de 6 mm de espesor,
- cubos de acero para fabricar los asientos de los rodamientos,
- eje hueco,
- desmoldante, alcohol etílico o cera,
- resina poliéster,
- disolvente,
- catalizador,
- acelerador,
- talco industrial,

- cable de cobre esmaltado (para los empalmes con las bobinas),
- cable de cobre (para la fabricación de las bobinas),
- dos rodamientos,
- dos cintas de aluminio, y
- soldadura.

Lista de herramientas básicas necesarias para la construcción del generador:

- Máquina de soldar,
- máquina de oxicorte,
- taladro de pie,
- taladro de mano,
- brocas N° ¼" a ½",
- desarmadores,
- mordazas,
- moldes y
- plantillas.

1.13 Fabricación del generador eléctrico

Siendo la fabricación del generador una de las partes más complicadas, y que requiere de herramientas más especializadas, se puede aprovechar las capacidades de algún taller local. En nuestro caso, se trabajó junto con la pequeña empresa local peruana Tecnología Energética Peruana S.A.C. (TEPERSAC). Lo necesario para la fabricación es contar con el conocimiento y dominio en el manejo de los equipos y herramientas de un taller básico, así como contar con los moldes, planos y plantillas.

Algunas piezas, como el eje hueco y los asientos (masa cilíndrica) para los rodamientos requieren ser maquinados con una mayor precisión, para lo cual se requiere de un torno. Estas piezas pueden enviarse a preparar a talleres más grandes, que cuenten con este tipo de equipos.

Una vez preparados los diferentes componentes, el paso final es armar el rotor y el estátor, para lo cual se requiere preparar una mezcla de resina con talco industrial. Se debe contar con las siguientes piezas principales (las dimensiones precisas se irán especificando en la presentación sucesiva de gráficos):

- Dos discos para el rotor,
- dieciséis imanes,
- seis bobinas,
- un eje hueco y
- material compuesto (resina, fibra de vidrio).

1.14 Proceso de fabricación del rotor

En esta parte detallamos los pasos que se siguieron para la construcción del rotor. El trabajo empieza por cortar la plancha de acero y sacar dos discos de igual diámetro. Luego, se debe hacer un segundo corte a uno de ellos, para tener un disco de menor diámetro y un anillo que también se utilizará para la fijación de las palas al generador.

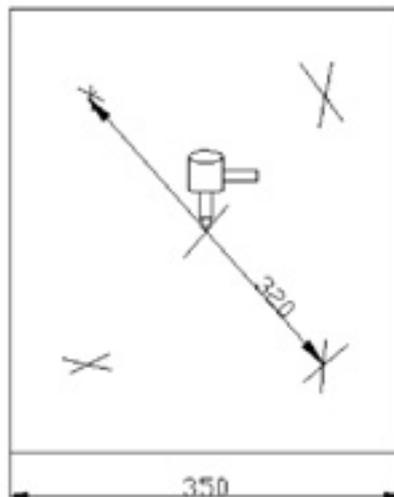
Como se ha mencionado, este proceso requiere de ciertas herramientas específicas, así como de las capacidades para utilizarlas. Como recomendación basada en la experiencia, para el corte de la plancha de acero es preferible usar un equipo de oxicorte; para mayores comodidades, se debe utilizar un compás de metal, colocar la punta en el centro de la circunferencia y desde este punto regular el soplete con el radio requerido. El compás ayuda a maniobrar el soplete, pues permite girar alrededor de la marca de la circunferencia, con lo que se logra un corte uniforme y preciso. El procedimiento seguido lo explicamos a continuación.

Paso 01

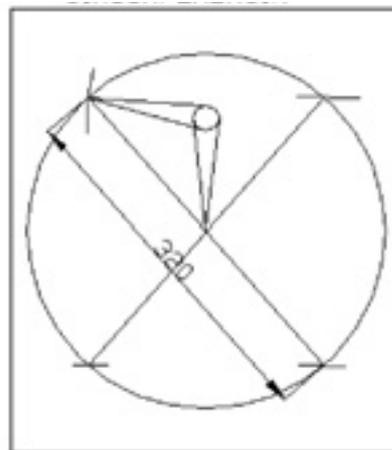
Disco frontal

- En la superficie de la plancha de acero, medir con regla o güincha, un diámetro de 320 mm, y poner las señales o marcas correspondientes en más de dos puntos; en el centro, hacer una marca golpeando con un punzón (ver gráfico N° 11).
- Empleando un compás de metal, hacer sobre la superficie de la plancha el trazado o marca de la circunferencia. Esta marca sirve como guía al momento de realizar el corte (ver gráfico 12).
- Abrir las válvulas del balón de oxígeno y gas; luego, encender el soplete y ajustar la llama. Fijar el apoyo del mango en el centro de la circunferencia, y regular el soplete de acuerdo con el radio. Por último, proceder al corte.

MEDIR Y MARCAR



TRAZAR LA CIRCUNFERENCIA



Gráficos N° 11 y 12: Marcas para hacer el corte y obtener los dos discos para el rotor
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

TRAZAR LA CIRCUNFERENCIA

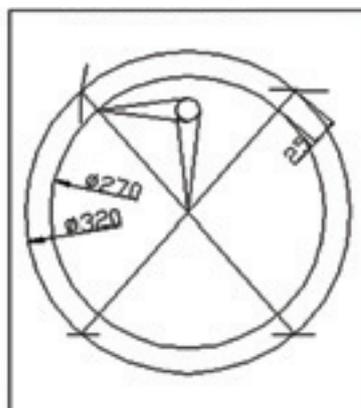


Gráfico N° 13: Medidas del segundo disco. (izquierda)
Fuente: Elaboración propia / Soluciones Prácticas- ITDG.
Foto N° 04: Anillo con los nueve agujeros. (derecha)
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

Disco posterior

- Siguiendo los pasos explicados para el corte del disco frontal, cortar otro disco del mismo diámetro.
- Considerando el mismo centro, marcar una circunferencia de diámetro de 270 mm y realizar el corte tal como se ha explicado anteriormente.

Como resultado de este proceso obtenemos tres piezas:

- Un disco con diámetro de 320 mm,
- un disco con diámetro de 270 mm, y
- un anillo con diámetro interno de 270 mm y diámetro externo de 320 mm.

(Nota: Después del proceso de corte, se debe limar o esmerilar los bordes de cada una de las piezas cortadas. Este procedimiento tiene por finalidad sacar la escoria o partículas que quedan después del corte. Así, por los bordes, se debería poder manipular la pieza con la seguridad de no generar accidentes o cortaduras de piel.)

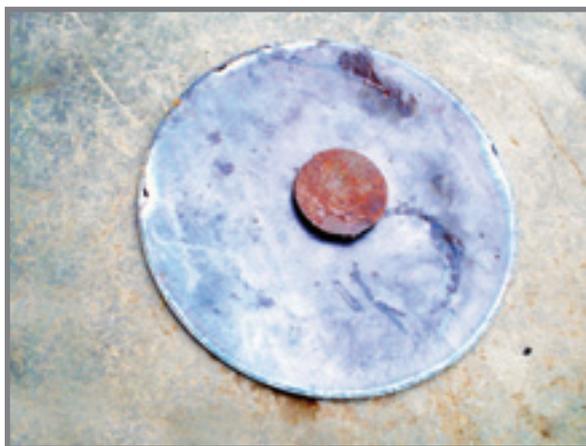


Foto 05: Disco para el rotor, con masa unida por soldadura.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

Paso 02

Usando la plantilla 02 se hacen los agujeros alrededor del disco de mayor diámetro. Debe hacerse nueve agujeros en grupos de tres; de igual forma, hagamos nueve agujeros al anillo tal como se muestra en la foto N° 04. Todos los agujeros deben tener el mismo diámetro, 1/2'', y deben coincidir los del disco con los del anillo, así como con los agujeros de cada una de las palas.

Paso 03

Preparación del asiento para los rodamientos

En cada disco se ubica un rodamiento, para lo cual se prepara una masa cilíndrica que debe ir unida por soldaduras en el centro de cada disco (foto N° 05 y gráfico N° 14) después del maquinado; se le debe dar, asimismo, las dimensiones respectivas. (En nuestro caso, la masa cilíndrica tiene 13 mm de altura y 80 mm de diámetro).

- Una vez cortada la masa cilíndrica, se debe soldar en el centro de cada disco.
- Para lograr una mejor precisión en la fijación, primero se debe hacer una circunferencia empleando un compás, con el diámetro de la masa cilíndrica de 80 mm, tomando siempre

como referencia el centro del disco.

- Posteriormente, a la masa cilíndrica debe hacerse un agujero con diámetro de 52 mm y profundidad de 15 mm, que son las dimensiones del rodamiento, el cual debe introducirse a presión. Para realizar este trabajo, se debe emplear un torno, y muchísima precisión (ver gráficos N° 9 y 10).

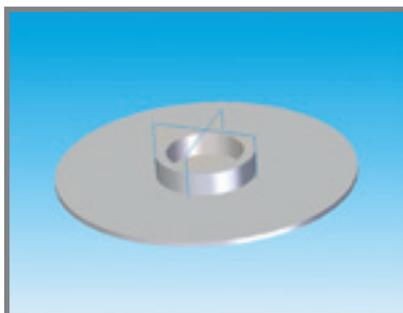


Gráfico N° 14: Disco listo para colocar rodamiento en asiento.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

Paso 04

Para evitar el derrame de la resina durante la fabricación del rotor, hay que preparar dos cintas de material de aluminio con diámetro de 230 mm, ancho de 8 mm, y espesor de 3 mm. La cinta debe colocarse alrededor de los discos. En la foto N° 06 se muestran las características de la cinta.



Foto N° 06: Cinta de aluminio para colocarse en los bordes de los rotores.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

Paso 05

Colocación de los bloques de imanes sobre la superficie de los discos

- **Consideraciones y precauciones**

Los imanes almacenan una gran cantidad de campo magnético, por lo que se debe tener cuidado en su manipulación, pues tienen una fuerza de atracción frente a otros materiales ferromagnéticos o imanes de polo opuesto, que pueden sorprenderlo y causarle algún accidente en los dedos. Asimismo, no debe poner dos bloques de imanes de polos opuestos cerca, o frente a frente, ya que con seguridad la fuerza de atracción será difícil de controlar y no podrá evitar que colisionen y se rompan.

Los bloques de imanes pueden ser de varias formas geométricas, tales como rectangulares,

cuadrados, trapezoidales, circulares, etc. Para la construcción de este generador empleamos imanes cuadrados de ferrita y, en algunos casos, de neodimio.

Cada bloque de imán tiene una cara polo norte "N" (positivo) y otra polo sur "S" (negativa). Conocemos también que los imanes del mismo polo se repelen y que los de polos diferente se atraen (gráfico N° 15). Sobre las caras de los bloques no hay ninguna señal o marca que indique qué polo es, por lo que para determinar el polo es necesario acercarse con mucho cuidado dos bloques, donde el que atraiga al otro será polo norte, y el que tiende a acercarse será polo sur.

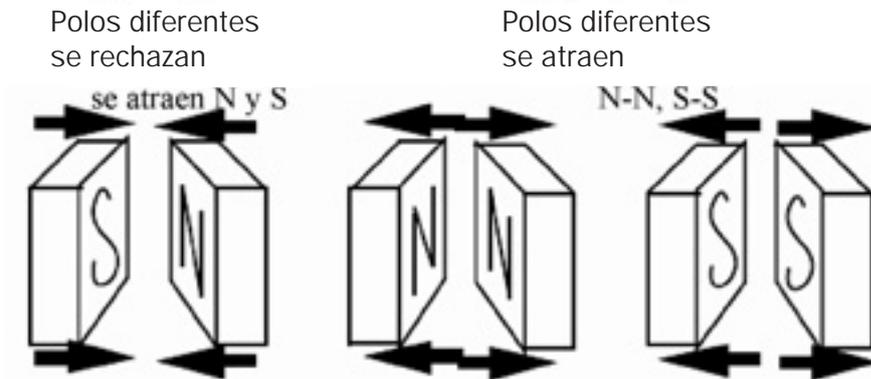


Gráfico N° 15: Fuerzas que producen los imanes según colocación
Fuente: Proyecto internacional coordinado por ITDG.

• Procedimiento

Para la colocación de los bloques de imanes sobre la superficie del disco, primero hay que limpiarla con alcohol, pues no debe haber ningún tipo de suciedad y/o grasa sobre ella.

Para colocar los imanes se debe usar la plantilla N° 01. Los imanes deben alternarse de la forma N-S-N-S... (polo norte, polo sur, polo norte, polo sur...), para lo cual se deben seguir las letras de la plantilla.

Para conocer la polaridad del imán en forma práctica podemos acercarlo a un bloque de imán sobre la superficie del disco y, si hay atracción, esta cara será positiva (polo norte), por lo que esta será la cara superior en el disco. Para conocer la polaridad del siguiente bloque, hay que coger otro imán y acercarlo al primero ya colocado; si se rechazan estas caras, entonces son positivas. Si ello ocurre, habrá que darle la vuelta al bloque y acercarlo nuevamente; con seguridad, habrá una fuerza de atracción (con lo que esta cara será polo sur, que debe ir en la parte superior). Cada vez que coloque un bloque habrá que acercarlo al anterior y conocer así su polaridad. Hay que realizar este procedimiento para el siguiente bloque, y de esta manera en lo sucesivo. El procedimiento se repite para la colocación de los imanes en los dos discos.

Para tener una mayor seguridad en la colocación de los bloques de imanes, se debe emplear un orden alternado. Una vez terminada esta etapa para verificación, se debe coger un bloque de imanes y acercarlo a cada uno de los otros, en cuyo proceso debe cumplirse que el mismo es atraído, luego rechazado, luego atraído, luego rechazado, y así en lo sucesivo. Si esto no ocurre en algún bloque, entonces habrá que hacer la corrección pertinente (ver gráfico N° 16 y foto N° 07).

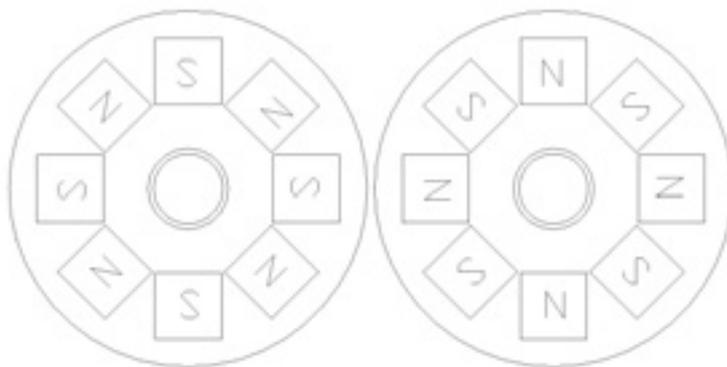


Gráfico N° 16: Forma correcta de colocar los bloques de imanes en los discos
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

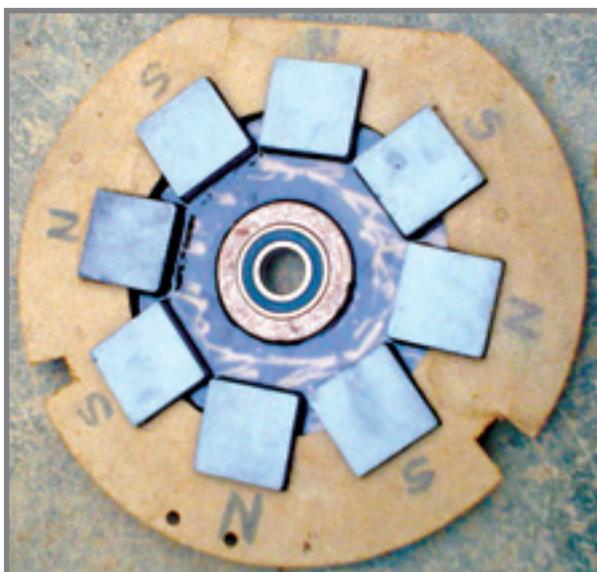


Foto N° 07: Plantilla y bloques de imanes sobre la superficie de los discos,
con rodamiento alojado en el asiento
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

• Fijado de imanes con resina y preparación del compuesto

Terminada la ubicación de los imanes sobre la superficie en los discos hay que colocar una capa de mezcla de resina y talco industrial para fijarlos.

Para la preparación de la resina, se debe tener cierta precaución. Si usted no tiene experiencia en la manipulación de resina y aditivos, debe ser cuidadoso al momento de añadir el peróxido MEK, pues un excedente generaría que la mezcla se solidifique rápidamente y, con ello, el vaciado o llenado de los rotores no pueda terminarse.

Los materiales necesarios para llevar esto a cabo son:

- 500 gr de resina poliéster;
- 300 gr de talco industrial;

- disolvente monoestireno 15%;
- acelerador (naftenato de cobalto) 3%;
- 20 gotas de catalizador (endurecedor), peróxido de metil-etil-cetona, conocido comercialmente como peróxido de MEK;
- depósito de plástico;
- agitador (puede usarse una paleta, un pedazo de madera, una pequeña varilla de hierro delgado, u otro material disponible de similares características).

• El procedimiento

Poner 500 gr de resina en el depósito, agregar 15% de disolvente y mezclar completamente; luego, agregar el cobalto y 300 gr de talco industrial; mezclar todo. No colocar el MEK, (Ver gráfico N° 17).

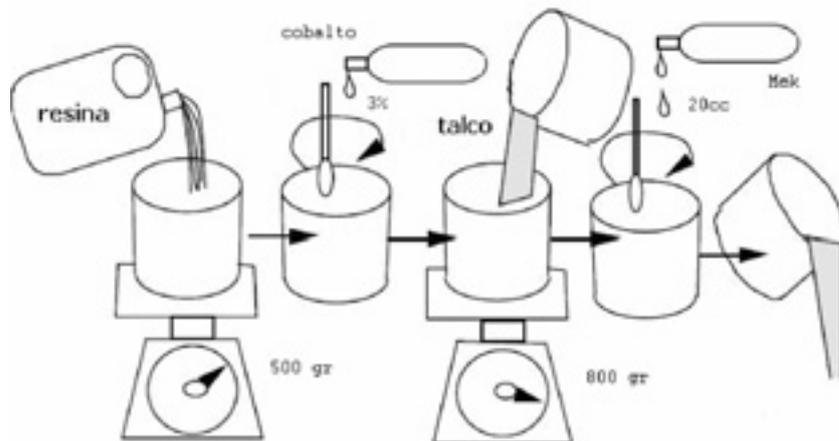


Gráfico N° 17: Procedimiento para preparar la mezcla de resina y talco industrial, así como de aditivos.
Fuente: Convenio internacional coordinado por Soluciones Prácticas – ITDG.

Antes de colocar el MEK, los discos deben estar colocados sobre una superficie totalmente plana y alrededor debe haberseles colocado una cinta de aluminio que evite que el material se derrame por los costados. La parte superior de la cinta sirve como tope, y es hasta donde deben llenarse los discos.

Una vez realizado esto, se tiene todo listo para agregar la resina o mezcla. Como último paso, entonces, agregamos las gotas de MEK, removemos y vertemos sobre los discos.

1.15 Proceso de fabricación del estátor

Para la fabricación del estátor, primero hay que hacer seis bobinas usando el dispositivo descrito en el punto 1.7. Luego ubicar estas bobinas en el molde del estátor especificado en el punto 1.6 y, finalmente, se verterá la resina, con lo que se obtiene un disco sólido. A continuación, detallamos los pasos para su realización.

Paso 01

Preparación de las bobinas

Las bobinas se preparan con cable de cobre esmaltado de un calibre adecuado, considerando el amperaje a trabajar. En nuestro caso usamos cable N° 18 AWG.

Usando el dispositivo señalado, preparamos seis bobinas de 100 espiras cada una, lo cual significa que habrá que dar cien vueltas al dispositivo. Cada bobina tiene una punta de inicio y una punta al final; estas puntas deben quedar libres por al menos 10 cm para hacer las conexiones (empalmes) necesarios. Asimismo, las puntas deben estar bien identificadas. Terminadas las bobinas, sacar del dispositivo y colocar *masking tape* en los cuatro lados de cada bobina, para asegurar que las espiras permanezcan agrupadas (ver foto N° 08); también se deben enumerar las bobinas del uno al seis, con la finalidad de armar el circuito eléctrico, que es doble estrella (ver gráfico N° 18).

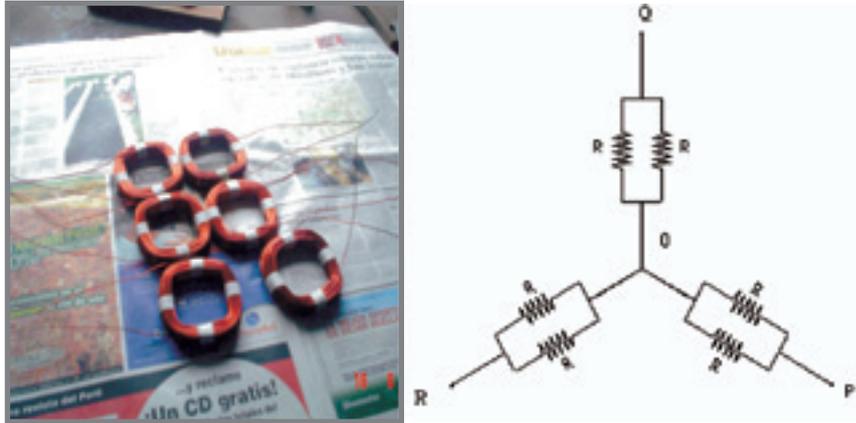


Foto N° 08 (izquierda): Seis espiras terminadas.

Fuente: Soluciones Prácticas-ITDG

Gráfico N° 18 (derecha): Representación del circuito eléctrico.

Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

Paso 02

Eje hueco

Las dimensiones que hemos utilizado en nuestro aerogenerador aparecen en el gráfico 19, el eje hueco tiene en la parte más gruesa un agujero de mayor tamaño (8 mm), que es por donde salen los cables que se unen a los otros cables de las bobinas, para la unión o empalme primero sacar la capa de esmalte o de aislamiento de los tres alambres y enseguida unir las bobinas para lo cual se debe usar estaño.



Foto N° 09: Eje hueco y tres cables.

Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

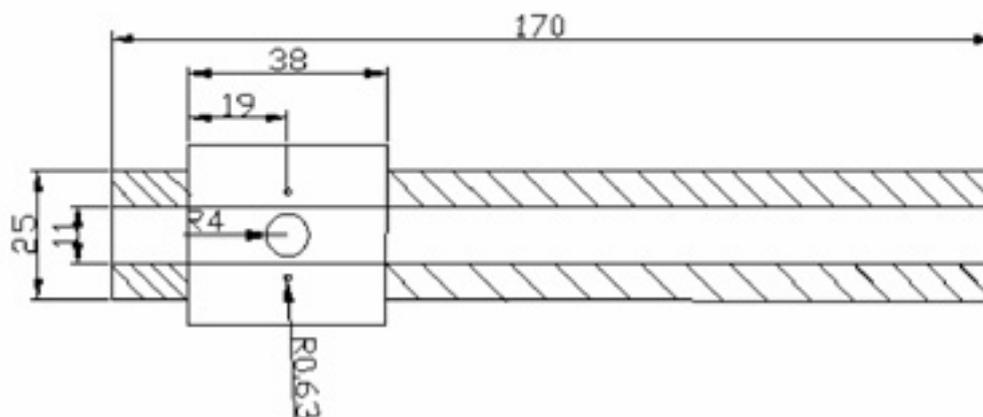


Gráfico N° 19: Medidas del eje hueco
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

Paso 03

Armado del estátor

1.- Para armar un estátor se empieza limpiando el molde; si es nuevo y es la primera vez que se va usar, entonces será necesaria la aplicación de desmoldante hasta en seis veces seguidas. En cada aplicación debe esperarse un tiempo prudencial hasta secar, luego deberá colocarse, sucesivamente y siguiendo el mismo procedimiento, las otras aplicaciones. La finalidad del empleo del desmoldante es evitar que la pieza a construir se adhiera al molde, y se malogre al momento de sacarla. Después de haber empleado el molde en la construcción de cinco a seis veces, la aplicación de desmoldante al mismo será de dos a tres veces.

2.- Por los dos agujeros de menor diámetro hechos en el eje se atraviesa un pedazo de varilla de acero. Cuando se vierte la resina, la varilla debe quedar en el centro del estátor, lo cual asegura que el eje quede totalmente fijo y que por ninguna forma gire durante el funcionamiento (eje estático).

3.- Colocar el eje en el centro del molde; enseguida, colocar las seis bobinas alrededor del molde de tal manera que las esquinas inferiores de cada una choquen o se aproximen lo máximo posible una a la otra. Utilizando una cuchilla, raspar aproximadamente 1 cm en todas las puntas de las bobinas, con la finalidad de retirar el aislamiento, para poder hacer la unión con los cables.

4.- Para la forma de conexiones del bobinado debe hacerse según el voltaje fijado en el diseño, puede ser un voltaje de salida de 12 Vol ó 24 Vol, la configuración de conexión puede ser de tipo estrella o triángulo según lo previsto en el diseño del circuito eléctrico del bobinado, en muchos casos se hace una conmutación para pasar de un tipo de conexión a otra y así obtener el voltaje deseado, esto debido a que el aerogenerador está mayormente trabajando en régimen variable. Para este caso específico hacemos una conexión tipo estrella, para lo cual se deberá seguir el siguiente procedimiento.

- Juntar todos los cables de inicio de cada bobina y unirlos con soldadura de estaño. Este punto o terminal será la línea neutra del generador punto "O" del gráfico N° 18.
- Unir el alambre final de la bobina 1 con el alambre final de la bobina 4. A este punto habrá que unir el cable de color rojo que sale al exterior.

- Unir el alambre final de la bobina 2 con el alambre final de la bobina 5. Por último, unir ambos con el cable de color azul que sale al exterior.
- Unir el alambre final de la bobina 3 con el alambre final de la bobina 6 y, luego, unirlos con el cable de color negro que sale al exterior.

En resumen:

- Unir todos los inicios de las bobinas.
- Unir los finales de las bobinas 1-4, 2-5, 3-6.

En cada unión o empalme debe ponerse cinta aislante como seguridad para evitar posibles cortos circuitos en estas uniones. Una vez concluido este trabajo, se deben ordenar los cables: la línea neutra quedará en el interior del estátor cuando se haga el vaciado de la resina.



Foto N° 10: Seis bobinas en molde, empalmes con cinta aislante y ubicación del eje hueco.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

Paso 04

Llenado de la resina

Para terminar la construcción del estátor hay que llenar el molde con una mezcla de resina y talco industrial. Para su preparación, se debe seguir el mismo procedimiento realizado para el caso de los rotores.

Las cantidades utilizadas fueron:

- 600 gr de resina,
- 400 gr de talco industrial,
- disolvente 15% cc,
- cobalto 3% cc, y
- 20 gotas de MEK.

Una vez preparada la resina, deberá agregarse hasta la mitad del molde. Luego, con un desarmador, levantar ligeramente los bordes de cada bobina, con la finalidad de que la resina ingrese por debajo de las bobinas y se forme así una capa uniforme en la base del molde. Continúe agregando resina hasta terminar de llenar; observe que este llenado quede a la altura del molde. Enseguida, colocar la otra parte del molde y, por los agujeros, continúe agregando la resina hasta un llenado completo. Por último, colocar alrededor del molde tres prensas para amordazar.

Una vez concluido el proceso anterior, dejar secar para solidificar, por un aproximado de 24 horas o más, lo cual depende de la temperatura del ambiente, para después sacar los moldes y tener el estátor terminado. Si por algún motivo hay alguna parte que está mal llenada, ésta se deberá resanar, para lo cual podemos preparar una porción de resina y colocarla con una espátula (ver foto N° 11, 12 y 13).



Foto N° 11: Bobinas cubiertas con mezcla de resina y talco industrial.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.



Foto N° 12 y 13: Molde con dos tubos por donde se agrega la mezcla para llenado uniforme (izquierda).
Resultado del proceso en una pieza sólida (derecha).
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

1.16 Ensamble del generador

El procedimiento seguido para el ensamble del generador es el siguiente:

- (1) Colocar los rodamientos en cada asiento de los discos del rotor.
- (2) Colocar el disco de mayor tamaño en el piso y enseguida colocar el estátor (ver foto N° 14).
- (3) Levantar con las dos manos el disco de menor tamaño y acercarlo al otro. Los imanes de los dos discos deben quedar en posición de polos opuestos: polo norte frontal al polo sur (ver gráfico N° 16). Para lograr esto se debe hacer un giro al disco que tenemos en las manos; si se ha posicionado correctamente, se presentará una fuerza de atracción.

- (4) Para cerrar completamente el generador, colocar una platina de acero alrededor, uniéndolo por medio de una soldadura.
- (5) Una vez concluido el proceso de armar el generador, se procede al pintado. La pintura en cuestión debe tener características acordes con la zona donde se va a instalar el sistema; por ejemplo, en el mercado hay pinturas para protección de superficies metálicas que están expuestas a climas agresivos.



Foto N° 14 y 15: Armado final del generador (izquierda) Generador terminado (derecha)
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

1.17 Conversión de corriente alterna a continua, y curva de comportamiento del generador con imanes permanentes de neodimio

El generador eléctrico trabaja con una turbina eólica que, para un mejor aprovechamiento de la energía generada, se debe acumular en baterías, para lo cual se debe transformar la corriente alterna generada a corriente continua por medio de un sistema rectificador, para este fin usamos un puente de diodos. El gráfico N° 20 muestra una forma simple, sin embargo hay que tener en cuenta la calidad de onda de salida.

Para proteger la batería de sobrecargas excesivas y descargas no recomendadas, que de ocurrir, acortan la vida útil de la batería, se recomienda colocar un controlador electrónico para su protección, por lo que el sistema de rectificación debe ser lo mejor. Hay varias formas de lograrlo y cada una tiene un costo.

Conocer las características de trabajo del generador pasa por hacer pruebas de laboratorio para hacer las curvas de comportamiento de la máquina. En el gráfico N° 21 mostramos la curva del generador con imanes permanentes de neodimio, el que fue construido al final de los trabajos de investigación, y que ha sido descrito en los puntos anteriores. Sin embargo para aerogeneradores de potencia menores de 300 W es recomendable usar imanes de ferrita. Tiene los siguientes componentes y características:

- Generador trifásico,
- ocho pares de polos (en conexión doble estrella),
- 6 bobinas de 100 espiras cada una,
- 330 W de potencia nominal,
- 360 rpm de velocidad nominal, y
- eficiencia a un 66%.

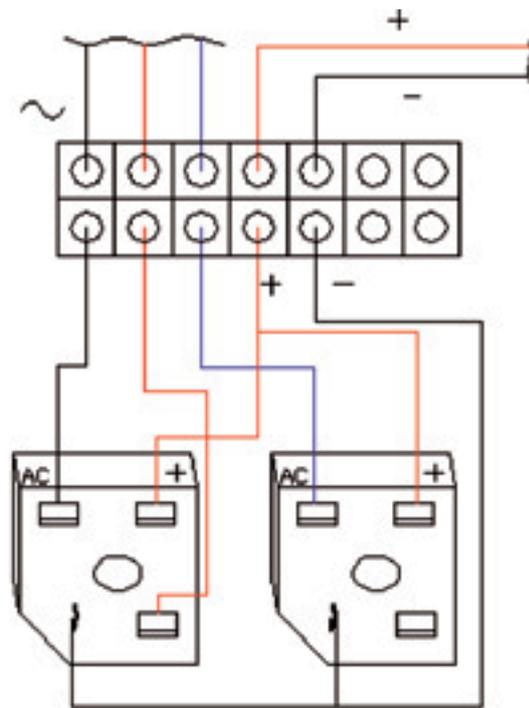


Gráfico N° 20: Conexiones a los diodos tipo puente
Fuente: Elaboración propia / Soluciones Prácticas - ITDG.

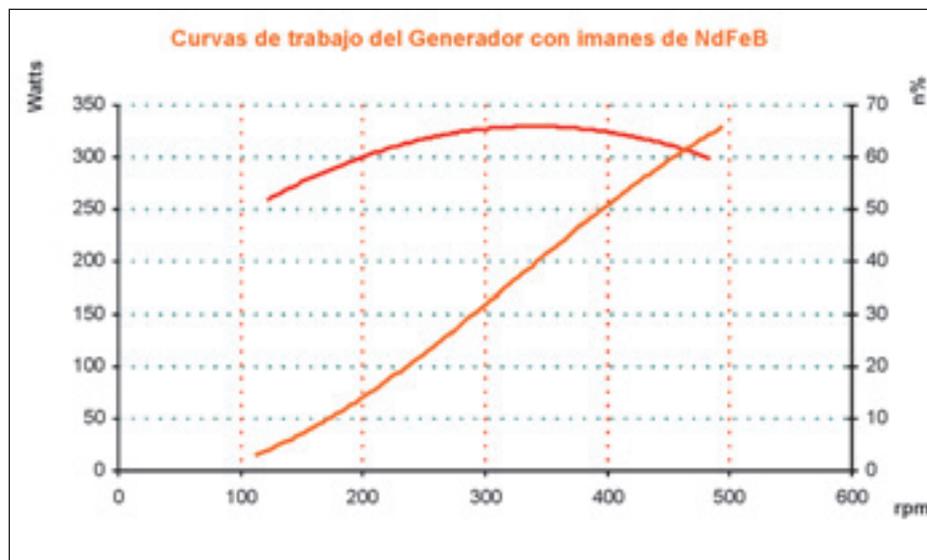


Gráfico N° 21: Curva trabajo de un generador tipo disco con imanes de NdFeB
Fuente: Elaboración propia / Soluciones Prácticas - ITDG.

2. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA TURBINA EÓLICA

2.1 Introducción

La turbina eólica es el componente del aerogenerador compuesto por tres palas expuestas al viento. Este dispositivo transforma la energía del viento, expresada en velocidad, en energía mecánica, la cual es transmitida al generador para crear a su vez energía eléctrica. Para la fabricación de las palas se requiere de un molde patrón, que debe ser construido con los datos obtenidos de los cálculos de diseño que han involucrado diferentes parámetros, tales como velocidad de viento, velocidad de giro, ángulo de ataque, eficiencia y otros.

Este capítulo está dirigido a presentar la forma de construcción de la pala para un generador de 100 W de potencia nominal. A su vez, es el resultado del trabajo realizado durante los últimos años en el diseño de la misma. Aquí se presentan los datos para construir las secciones y plantillas para la construcción del molde, así como los materiales requeridos y sus características; de igual modo, también presentamos el procedimiento a seguir para la fabricación de la pala.

2.2 Características del rotor

- Se compone de tres palas aerodinámicas (perfil NACA 4412) fabricadas en fibra de vidrio y resina.
- Tiene una velocidad nominal de 360 rpm a una velocidad de viento de 6,50 m/s.
- Tiene un diámetro nominal de 1,70 m.
- Se acopla directamente con el generador.



Gráfico N° 22: Rotor eólico de tres aspas
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

2.3 Pala

El viento incide en la pala, produciendo el movimiento giratorio que es transmitido al rotor del generador. Para el diseño de las palas se toman perfiles aerodinámicos ya determinados y estudiados en laboratorios especializados. Para determinar sus dimensiones, se han desarrollado diferentes herramientas informáticas en los últimos tiempos, lo cual facilita este trabajo. En nuestro caso para los cálculos usamos una hoja Excel. Sus características geométricas están determinadas por el perfil que se emplea, la velocidad de viento, la potencia requerida y la velocidad de giro del rotor del generador. En el gráfico N° 23 se muestra la pala que se emplea en la construcción del aerogenerador de 100 W que se diseñó por Soluciones Prácticas - ITDG.

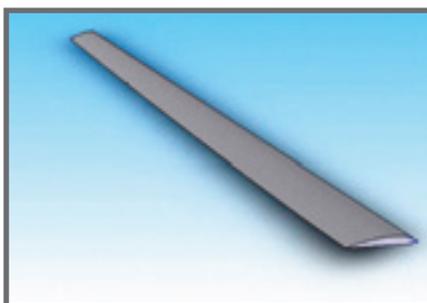


Gráfico N° 23: Modelo de pala del aerogenerador IT-PE 100.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

2.4 Datos para la construcción de la pala

Para la construcción de la pala se requiere conocer las diferentes secciones, con su respectiva cuerda y ángulo de posición para diferentes radios, que son obtenidos a partir de los cálculos teóricos y las consideraciones del diseñador. A partir de la cuerda para diferentes radios y los datos del perfil elegido obtenemos los puntos de cada sección que darán forma a la pala.

En esta sección, presentaremos los resultados obtenidos en el diseño, para su construcción. En la tabla N° 01 se pueden ver las cuerdas y los ángulos empleados en el IT-PE 100.

r	B	C
0.15	14.53	0.17
0.20	13.62	0.16
0.25	12.72	0.15
0.30	11.81	0.15
0.35	10.90	0.14
0.40	9.99	0.13
0.45	9.08	0.13
0.50	8.17	0.12
0.55	7.26	0.11
0.60	6.35	0.10
0.65	5.44	0.10
0.70	4.53	0.09
0.75	3.63	0.08
0.80	2.72	0.08
0.85	1.81	0.07

Tabla N° 01: Datos a diferentes radios, con sus respectivos ángulos y cuerdas, necesarios para la construcción de la pala.

r: Radio en cm.

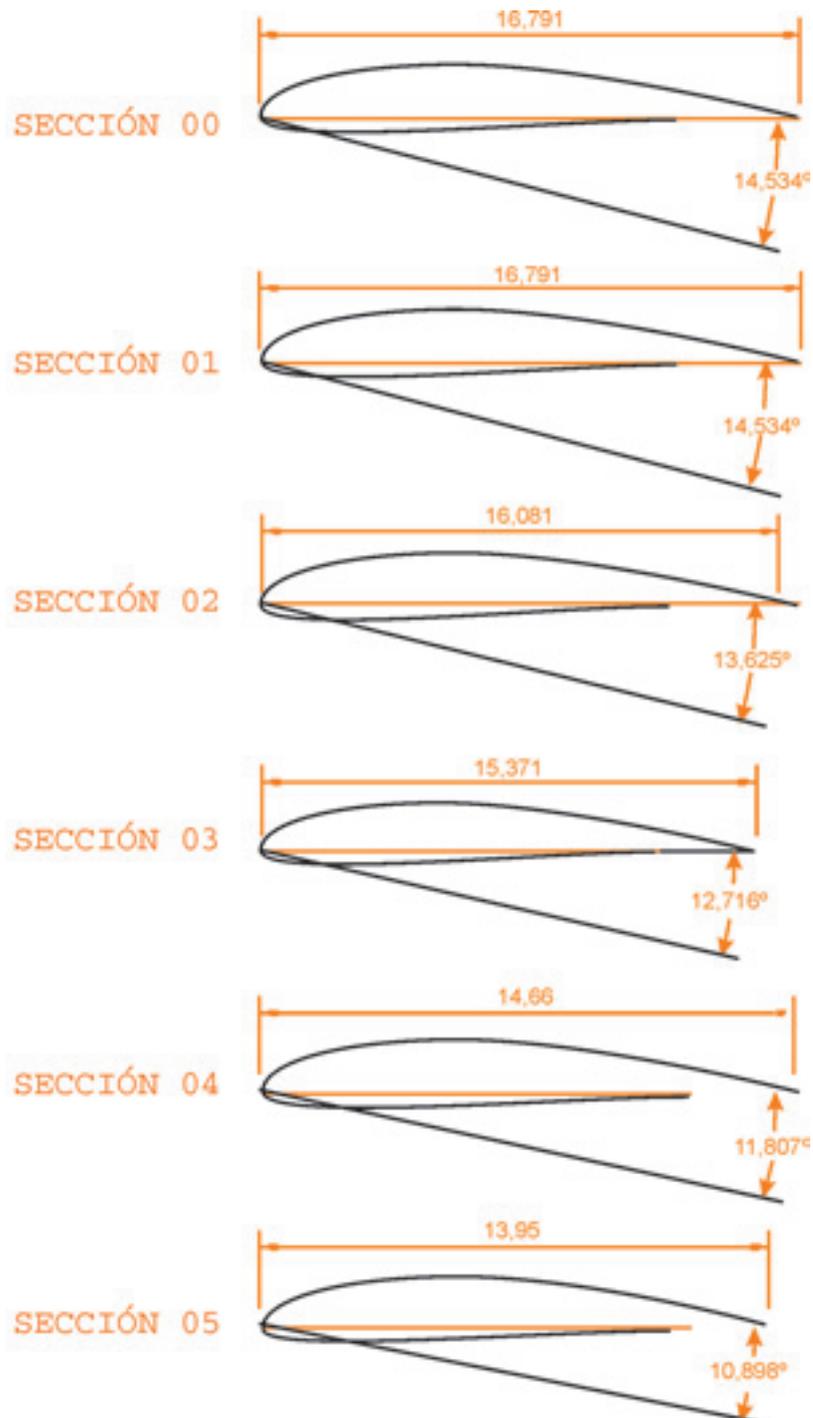
B. Ángulo en grados.

C: Cuerda en cm.

Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

2.5 Secciones para dar forma a la pala

Para dar forma a la pala la dividimos en 15 secciones con una variación de 50 mm como se ilustra en el gráfico N° 27, cada sección tiene dimensiones diferentes de cuerda, espesor y ángulo de posición, cada una debe ser dibujada a escala real según los datos de la tabla N° 2. Para el dibujo puede usar desde un programa de computación AutoCAD o algo más sencillo como lápiz y papel, escalímetro. Cada sección tiene puntos en los ejes coordenados "X" e "Y", el gráfico N° 25 muestra cómo se debe dibujar cada sección, en el gráfico N° 24 mostramos las quince secciones con su respectiva longitud de cuerda y sus respectivos ángulos de posición.



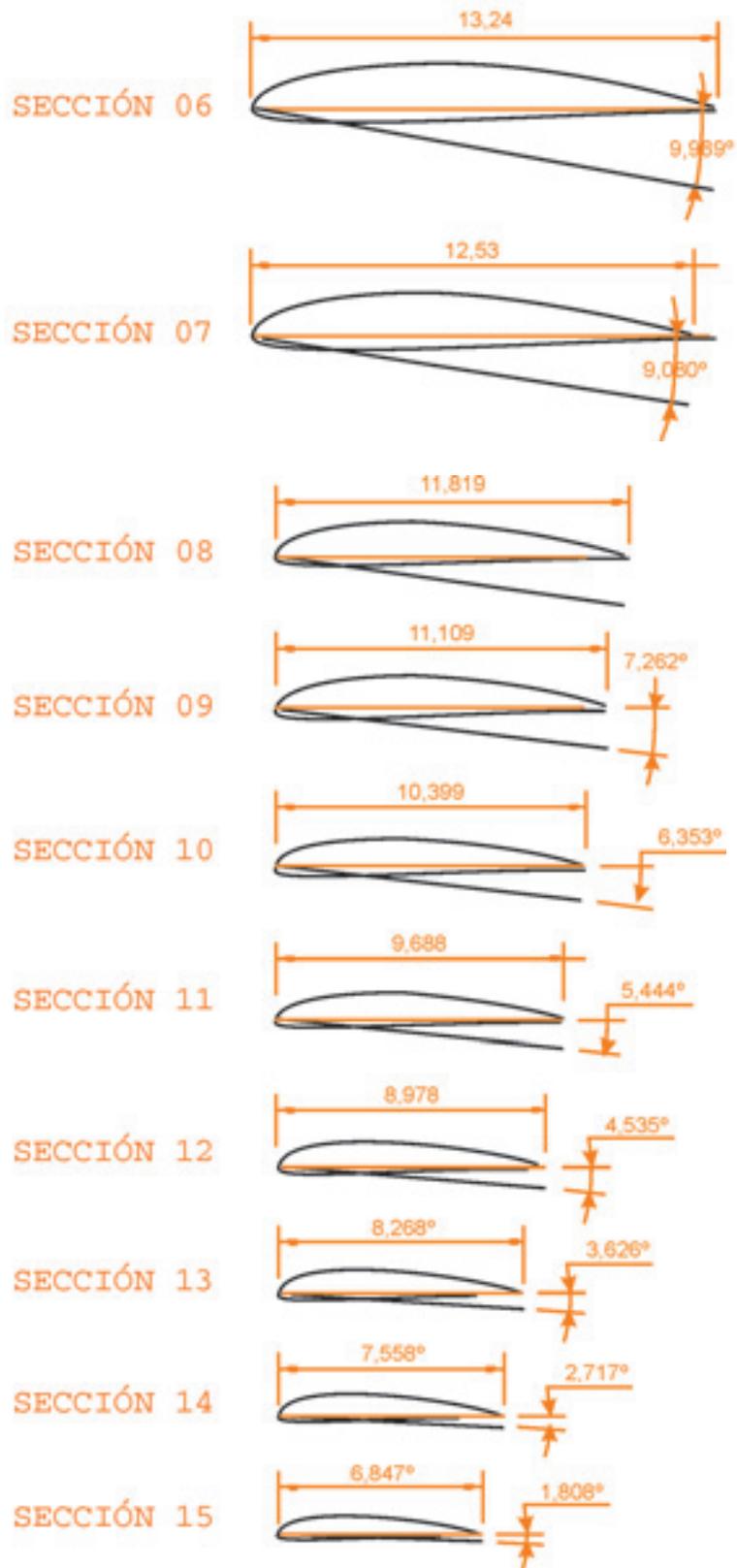


Gráfico N° 24: Longitudes de cuerda y ángulos de cada una de las secciones.

Fuente: Elaboración propia / Soluciones Prácticas - ITDG.

Fuente: Soluciones Prácticas - ITDG.

X	Y(+)	Y(-)	X	Y(+)	Y(-)
SECCIÓN 1			SECCIÓN 2		
0	0	0	0.00	0.00	0.00
0.21	0.41	-0.24	0.20	0.39	-0.23
0.42	0.57	-0.33	0.40	0.55	-0.31
0.84	0.79	-0.42	0.80	0.76	-0.40
1.26	0.97	-0.46	1.21	0.93	-0.44
1.68	1.11	-0.48	1.61	1.06	-0.46
2.52	1.32	-0.48	2.41	1.27	-0.46
3.36	1.48	-0.46	3.22	1.42	-0.44
4.20	1.58	-0.42	4.02	1.51	-0.40
5.04	1.64	-0.38	4.82	1.57	-0.36
6.72	1.65	-0.30	6.43	1.58	-0.29
8.40	1.54	-0.24	8.04	1.48	-0.23
10.07	1.37	-0.17	9.65	1.31	-0.16
11.75	1.12	-0.11	11.26	1.08	-0.10
13.43	0.82	-0.07	12.86	0.79	-0.06
15.11	0.46	-0.04	14.47	0.44	-0.04
15.95	0.25	-0.03	15.28	0.24	-0.03
16.79	0.02	-0.02	16.08	0.02	-0.02
16.79	0.00	0.00	16.08	0.00	0.00
SECCIÓN 3			SECCIÓN 4		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.19	0.38	-0.22	0.18	0.36	-0.21
0.38	0.52	-0.30	0.37	0.50	-0.29
0.77	0.73	-0.38	0.73	0.69	-0.37
1.15	0.89	-0.42	1.10	0.84	-0.40
1.54	1.01	-0.44	1.47	0.97	-0.42
2.31	1.21	-0.44	2.20	1.16	-0.42
3.07	1.35	-0.42	2.93	1.29	-0.40
3.84	1.45	-0.38	3.67	1.38	-0.37
4.61	1.50	-0.35	4.40	1.43	-0.33
6.15	1.51	-0.28	5.86	1.44	-0.26
7.69	1.41	-0.22	7.33	1.35	-0.21
9.22	1.25	-0.15	8.80	1.19	-0.15
10.76	1.03	-0.10	10.26	0.98	-0.10
12.30	0.75	-0.06	11.73	0.72	-0.06
13.83	0.42	-0.03	13.19	0.40	-0.03
14.60	0.23	-0.02	13.93	0.22	-0.02
15.37	0.02	-0.02	14.66	0.02	-0.02
15.37	0.00	0.00	14.66	0.00	0.00

Tabla N° 02: Valores para hacer las 15 secciones y dar forma al molde para la construcción de la pala.

X	Y(+)	Y(-)	X	Y(+)	Y(-)
SECCIÓN 5			SECCIÓN 6		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.17	0.34	-0.20	0.17	0.32	-0.19
0.35	0.47	-0.27	0.33	0.45	-0.26
0.70	0.66	-0.35	0.66	0.63	-0.33
1.05	0.80	-0.38	0.99	0.76	-0.36
1.40	0.92	-0.40	1.32	0.87	-0.38
2.09	1.10	-0.40	1.99	1.04	-0.38
2.79	1.23	-0.38	2.65	1.17	-0.36
3.49	1.31	-0.35	3.31	1.25	-0.33
4.19	1.36	-0.32	3.97	1.29	-0.30
5.58	1.37	-0.25	5.30	1.30	-0.24
6.98	1.28	-0.20	6.62	1.22	-0.19
8.37	1.14	-0.14	7.94	1.08	-0.13
9.77	0.93	-0.09	9.27	0.89	-0.09
11.16	0.68	-0.05	10.59	0.65	-0.05
12.56	0.38	-0.03	11.92	0.36	-0.03
13.25	0.21	-0.02	12.58	0.19	-0.02
13.95	0.02	-0.02	13.24	0.02	-0.02
13.95	0.00	0.00	13.24	0.00	0.00
SECCIÓN 7			SECCIÓN 8		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.16	0.31	-0.18	0.15	0.29	-0.17
0.31	0.42	-0.24	0.30	0.40	-0.23
0.63	0.59	-0.31	0.59	0.56	-0.29
0.94	0.72	-0.34	0.89	0.68	-0.32
1.25	0.83	-0.36	1.18	0.78	-0.34
1.88	0.99	-0.36	1.77	0.93	-0.34
2.51	1.10	-0.34	2.36	1.04	-0.32
3.13	1.18	-0.31	2.95	1.11	-0.30
3.76	1.22	-0.28	3.55	1.15	-0.27
5.01	1.23	-0.23	4.73	1.16	-0.21
6.26	1.15	-0.18	5.91	1.09	-0.17
7.52	1.02	-0.13	7.09	0.96	-0.12
8.77	0.84	-0.08	8.27	0.79	-0.08
10.02	0.61	-0.05	9.46	0.58	-0.05
11.28	0.34	-0.03	10.64	0.32	-0.03
11.90	0.18	-0.02	11.23	0.17	-0.02
12.53	0.02	-0.02	11.82	0.02	-0.02
12.53	0.00	0.00	11.82	0.00	0.00
SECCIÓN 9			SECCIÓN 10		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.14	0.27	-0.16	0.13	0.25	-0.15
0.28	0.38	-0.22	0.26	0.35	-0.20
0.56	0.53	-0.28	0.52	0.49	-0.26
0.83	0.64	-0.30	0.78	0.60	-0.28
1.11	0.73	-0.32	1.04	0.69	-0.30
1.67	0.88	-0.32	1.56	0.82	-0.30
2.22	0.98	-0.30	2.08	0.92	-0.28
2.78	1.05	-0.28	2.60	0.98	-0.26
3.33	1.08	-0.25	3.12	1.01	-0.24

4.44	1.09	-0.20	4.16	1.02	-0.19
5.55	1.02	-0.16	5.20	0.96	-0.15
6.67	0.90	-0.11	6.24	0.85	-0.10
7.78	0.74	-0.07	7.28	0.70	-0.07
8.89	0.54	-0.04	8.32	0.5 1	-0.04
10.00	0.30	-0.02	9.36	0.28	-0.02
10.55	0.16	-0.02	9.88	0.15	-0.02
11.11	0.01	-0.01	10.40	0.01	-0.01
11.11	0.00	0.00	10.40	0.00	0.00
SECCIÓN 11			SECCIÓN 12		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.12	0.24	-0.14	0.11	0.22	-0.13
0.24	0.33	-0.19	0.22	0.30	-0.18
0.48	0.46	-0.24	0.45	0.42	-0.22
0.73	0.56	-0.27	0.67	0.52	-0.25
0.97	0.64	-0.28	0.90	0.59	-0.26
1.45	0.76	-0.28	1.35	0.71	-0.26
1.94	0.85	-0.27	1.80	0.79	-0.25
2.42	0.91	-0.24	2.24	0.84	-0.22
2.91	0.95	-0.22	2.69	0.88	-0.20
3.88	0.95	-0.17	3.59	0.88	-0.16
4.84	0.89	-0.14	4.49	0.83	-0.13
5.81	0.79	-0.10	5.39	0.73	-0.09
6.78	0.65	-0.06	6.28	0.60	-0.06
7.75	0.47	-0.04	7.18	0.44	-0.04
8.72	0.26	-0.02	8.08	0.24	-0.02
9.20	0.14	-0.02	8.53	0.13	-0.01
9.69	0.01	-0.0 1	8.98	0.01	-0.01
9.69	0.00	0.00	8.98	0.00	0.00
SECCIÓN 13			SECCIÓN 14		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.10	0.20	-0.12	0.09	0.18	-0.11
0.21	0.28	-0.16	0.19	0.26	-0.15
0.41	0.39	-0.21	0.38	0.36	-0.19
0.62	0.48	-0.23	0.57	0.44	-0.21
0.83	0.54	-0.24	0.76	0.50	-0.22
1.24	0.65	-0.24	1.13	0.60	-0.22
1.65	0.73	-0.23	1.51	0.67	-0.21
2.07	0.78	-0.21	1.89	0.71	-0.19
2.48	0.81	-0.19	2.27	0.74	-0.17
3.31	0.81	-0.15	3.02	0.74	-0.14
4.13	0.76	-0.12	3.78	0.69	-0.11
4.96	0.67	-0.08	4.53	0.62	-0.08
5.79	0.55	-0.05	5.29	0.51	-0.05
6.61	0.40	-0.03	6.05	0.37	-0.03
7.44	0.22	-0.02	6.80	0.20	-0.02
7.85	0.12	-0.01	7.18	0.11	-0.01
8.27	0.01	-0.01	7.56	0.01	-0.01
8.27	0.00	0.00	7.56	0.00	0.00

SECCIÓN 15		
0.00	0.00	0.00
0.09	0.17	-0.10
0.17	0.23	-0.13
0.34	0.32	-0.17
0.51	0.39	-0.19
0.68	0.45	-0.20
1.03	0.54	-0.20
1.37	0.60	-0.19
1.71	0.64	-0.17
2.05	0.67	-0.15
2.74	0.67	-0.12
3.4 2	0.63	-0.10
4.11	0.56	-0.07
4.79	0.46	-0.04
5.48	0.33	-0.03
6.16	0.19	-0.02
6.50	0.10	-0.01
6.85	0.01	-0.01
6.85	0.00	0.00

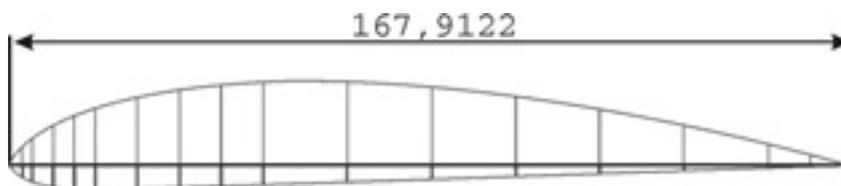


Gráfico N° 25: La línea azul divide los segmentos positivo y negativo de la primera sección de la pala.
(Diseño a partir de los datos de la tabla).
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

2.6 Construcción del molde

Para la construcción de las palas es necesario construir un molde, la tarea más complicada de realizar. Si bien hay especialistas que emplean diferentes técnicas para realizar este trabajo, solo se requiere de los planos con las dimensiones indicadas para fabricar uno del material solicitado.

Antes de explicar el proceso de construcción, veamos algunas recomendaciones importantes.

- El diámetro de 1 700 mm del rotor eólico debe ser considerado tal como se muestra en el gráfico N° 26.
- Para el caso de aerogeneradores con generadores tipo disco hay que considerar el diámetro del rotor del generador como parte del rotor total. Así, la longitud de la pala será de 690 mm, la parte que va acoplada será de 25 mm, y el total del molde a fabricar será de 715 mm.
- Preparar el molde de la parte de la raíz o base por separado y después unir para el molde final en aluminio o fibra de vidrio.

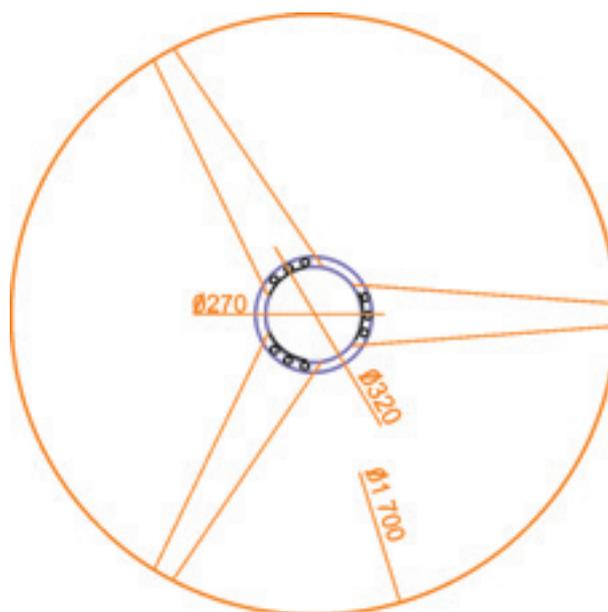


Gráfico N° 26: Dimensiones del rotor eólico acoplado al generador tipo disco
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

A continuación, se explica la forma de construcción del molde, necesario para construir las palas del IT-PE-100:

- Empleando los datos de la tabla N° 02, dibujar cada sección usando algún software AutoCAD o usando solo lápiz y papel. Trazar los ejes coordenados y ubicar los puntos, y después unirlos con una línea continua. Cada sección debe ser dibujada a escala real.
- Cortar cada sección y enumerar según corresponda. La distribución se muestra en la gráfica N° 27.
- Comprar un pedazo de plancha galvanizada de un metro de largo por 20 cm de ancho y de ¼" de espesor. Pegar la sección de papel sobre el metal y cortar (ver foto N° 16).
- Comprar tres maderas de 20 x 200 x 2 000 CM y hacer una caja.
- Hacer un agujero en el centro de cada sección y pasar un espárrago (varilla roscada) de ½" y 1 m de longitud.
- En la varilla colocar cada sección en la posición correspondiente y fijar las secciones con tuercas a ambos lados (ver foto N° 17).
- La primera sección y la última van pegadas a los extremos del cajón, dando el ángulo correspondiente.
- Los agujeros de los costados son para colocar una varilla entre las secciones, lo cual generará la firmeza necesaria cuando se llene con masilla plástica.
- Una vez terminado de armar y fijar las secciones, se procede a rellenar con masilla plástica los espacios vacíos. Los contornos de las secciones son el límite y deben ser cubiertos con la masilla, con lo cual queda una masa sólida muy similar a la pala requerida.
- La parte de la raíz se prepara de forma similar pero separada, considerando un espesor de 45 cm que sirve para el acople con el generador.
- Dejar secar el tiempo suficiente y después lijar hasta los bordes de los perfiles (secciones) que son de metal. El modelo de la pala para sacar un molde debe ser una pieza sólida que es lo que se requiere. Este modelo debe ser usado para un molde de aluminio o un molde en fibra de vidrio que debe ser en dos partes, una parte superior y otra parte inferior. (Ver foto N° 18 que ilustra las dos partes del molde fabricadas en aluminio).
- Si el material del molde a fabricarse es aluminio, entonces debe tenerse en cuenta la contracción de este material, por lo que el modelo deberá hacerse de mayor tamaño.

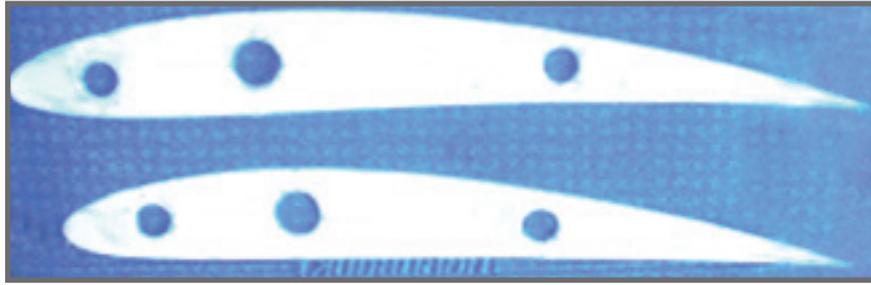


Foto N° 16: Dos secciones de metal con agujeros para armar en un eje.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

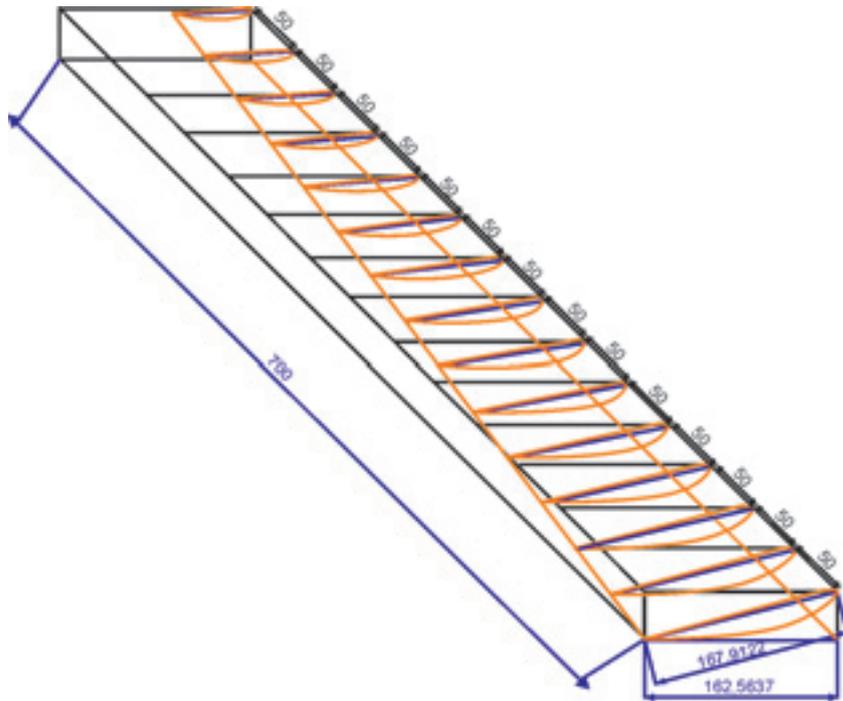


Gráfico N° 27: Esquema de las secciones a lo largo del cajón de madera.
Fuente: Elaboración propia / Soluciones Prácticas – ITDG.

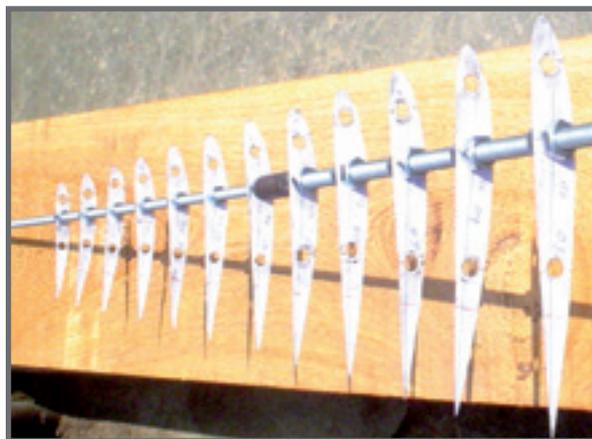


Foto N° 17: Secciones de metal fijadas en la varilla.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.



Foto N° 18: Dos partes del molde de aluminio que dan forma a la pala
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

Nota: El molde en aluminio facilita el trabajo con el compuesto de resina y fibra de vidrio, y tiene un periodo de vida extenso; en cambio, la madera debe ser tratada con probabilidades de sufrir deformaciones.

Fabricación del molde en madera

Se deben preparar las plantillas de metal. Se recomienda utilizar madera caoba por su resistencia a las deformaciones cuando ésta se expone al calor o a la humedad. El molde de madera puede ser utilizado para hacer moldes de fibra de vidrio y aluminio. Para la preparación, debemos seguir el siguiente procedimiento:

- a) Adquirir un bloque de madera, cuyas dimensiones serán de 45 x 165 x 700 mm.
- b) Realizar el proceso de secado de la madera, el cual podría realizarse en un horno como medio de aceleración.
- c) Tallar la madera; se debe iniciar por la punta de la pala, o sea la sección 15, luego a 50 mm se talla la sección 14, y así sucesivamente. Para el tallado de la madera se utiliza plantillas de acuerdo con cada sección.

Para el tallado del modelo, se utilizan las siguientes herramientas:

- Cepillo de mano,
- reglas,
- punzón,
- escuadras y
- plantilla de cada sección.

El proceso de acabado consiste en colocar masilla para cubrir algunos defectos, como pequeños poros, luego lijar y colocar una capa de pintura base. Después de la pintura se coloca una capa de tiza, con la finalidad de cubrir los poros más pequeños; luego, nuevamente se coloca una capa de pintura base. Por último, una vez secada la pintura, se procede a lijar con una lija fina N° 240 para, finalmente, cubrir con pintura de acabado (ver foto N° 19).



Foto N° 19: Molde de madera
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

Una vez que se tienen los moldes, la fabricación de la palas se hace un proceso menos complicado, pues la fibra se acomoda a cualquier superficie con facilidad.

A continuación, presentamos los materiales requeridos para la construcción del IT-PE-100:

- 450 gr x mm² de fibra de vidrio mate;
- resina poliéster;
- disolvente estireno (monoestireno);
- catalizador (endurecedor);
- acelerador, naftenato de cobalto; y
- desmoldante, alcohol polivinílico.

2.7 Características de los materiales utilizados

Resulta de singular importancia conocer cada uno de los materiales empleados, tanto como sus características y su aplicación. A su vez, acerca de la resina poliéster con refuerzo de fibra de vidrio se deben conocer los siguientes aspectos: cantidad, forma de aplicación, porcentaje en peso, temperatura de trabajo y porcentajes adecuados de aditivos. A continuación, haremos una descripción de estos aspectos:

- **Fibra de vidrio.** Es uno de los productos más utilizados en el moldeo de las resinas poliéster. Posee una serie de propiedades mecánicas que la convierten en un refuerzo ideal para la fabricación de diferentes piezas. La cantidad de fibra de vidrio varía en porcentaje de peso según las características mecánicas requeridas de la pieza a fabricar.

Existen diferentes tipos de fibra de vidrio y su aplicación está de acuerdo con el producto que se quiere obtener. Para la fabricación de las palas usaremos 450 gr x mm² tipo mate (ver foto N° 20).



Foto N° 20: Manta de fibra de vidrio.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

- **Resinas.** En el mercado existen diferentes tipos de resinas: poliéster, epoxi, para diferentes aplicaciones y para diferentes resistencias mecánicas, caloríficas o químicas, cada una con una hoja técnica del fabricante. Resulta importante contar con esta información para conocer el porcentaje de sólidos que posee cada una y usar, así, la cantidad de disolvente que recomienda el fabricante. No debemos olvidar que una cantidad superior de disolvente genera el deterioro de las propiedades físicas de la resina.

Para la fabricación de las palas del aerogenerador IT-PE-100, usamos la resina poliéster, que es la más comercial. Ella se puede encontrar en el mercado por kilos, o en distribuidores en cantidades mayores, latas o cilindros.

- **Disolvente.** Por lo general, las resinas poliéster necesitan ser diluidas antes de ser utilizadas. El disolvente tiene como función disminuir la viscosidad de la resina. Las cantidades o proporciones que se usan van en porcentaje de acuerdo con las características de la resina y la cantidad de sólidos que ésta posee, por lo que se requiere conocer el tipo de resina a utilizar. El disolvente que se utiliza es el más común, el estireno, conocido comercialmente como monoestireno.

- **Gel Coat.** Es una resina ortoftálica que sirve para aplicaciones puntuales. Según un requerimiento específico, ella puede ser pigmentada o transparente, y se acelera como un poliéster común. Su aplicación sirve para la primera capa del molde y cumple la finalidad de proteger a la pieza de condiciones extremas del medio ambiente, así como tener una mejor calidad de acabado en la superficie de la pieza en cuestión.

Algunas características de los aditivos

- **Catalizador (endurecedor).** Es el aditivo que inicia la reacción de polimerización. Reemplaza el calor en el proceso y, en determinados porcentajes, permite la solidificación de la resina. Existen diferentes tipos de catalizadores según la forma de trabajo: en pasta, para trabajar a temperaturas mayores de 100°C; catalizadores líquidos, que sirven para los moldeos manuales; el de pistola, que facilita su manipulación; o el peróxido de metil-etil-cetona (MEK), que utilizamos para la fabricación de la pala, y que resulta el más común.

El porcentaje que se debe agregar a la resina oscila entre 0,5% y 3% según las necesidades o características del trabajo en particular. Con el uso de una menor cantidad, la polimerización es más lenta, pero la pieza final tiene una cierta elasticidad y mayor resistencia al impacto; contrariamente, a mayor porcentaje de cantidad, el proceso de polimerización es más rápido, pero la pieza final es más rígida, más quebradiza y con menor resistencia a los impactos.

- **Acelerador.** Este aditivo acorta el tiempo de endurecimiento de la resina, y hace la polimerización más rápida. El más usado es el naftenato de cobalto, en estado líquido. Los porcentajes a utilizarse oscilan entre 0,1% y 2,5%. A menor cantidad de acelerador, la polimerización es más lenta, y la pieza final es más transparente; a mayor cantidad de la misma, se acelera el endurecimiento y la pieza adquiere un color rojizo.

- **Desmoldante.** Sirve como elemento de separación de la pieza del molde. Se puede disponer del mismo en cera, líquido, o alcohol polivinílico; en nuestro caso, optamos por emplear la presentación en líquido.

2.8 Procedimiento de construcción de una pala

Para trabajar con resina y fibra de vidrio se requiere de cierta experiencia en el manejo de tales elementos, así como de conocimiento en lo relativo a los porcentajes de los componentes que se deben utilizar. El uso de una mayor cantidad de aditivos, tales como el cobalto, tendría efectos negativos, ya que se tendría una pieza demasiado rígida, y al desmoldarse se presentarían rajaduras. El empleo de mayor cantidad de MEK acortaría el tiempo de trabajo en el proceso de la construcción, ya que la resina se solidificaría rápidamente. Cuando se humectan las capas de fibra con resina, se debe evitar la formación de burbujas de aire, ya que esto no permitirá la unión de las capas del material, lo cual debilita estas zonas, además de generar otras complicaciones.

Para la fabricación de las palas, se han seguido los pasos que detallamos a continuación.

Paso 01:

Preparación de plantillas para el corte de las capas de fibra de vidrio

Para el corte de las capas de fibra de vidrio hay que preparar dos plantillas de cartulina con las dimensiones de los moldes: cara frontal y cara posterior de la pala.

Paso 02:

Corte de las capas de fibra de vidrio

La fibra de vidrio viene en mantas y es cortada de acuerdo con las dimensiones de las caras de la pala. Para el corte, se debe colocar la manta sobre una mesa de trabajo; enseguida, coloque la plantilla sobre la manta y marque con un lápiz todo el contorno de la plantilla; luego, proceda a cortar con una tijera. Se puede cortar muchas capas de cada una de las caras y tenerlas preparadas para usarlas cada vez que fabrique un aerogenerador o fabricar varias palas para tenerlas en stock. La fibra de vidrio no sufre ningún deterioro con el tiempo.

Hay pequeños retazos sobrantes que van quedando del proceso de corte, los cuales son usados en los bordes y base de la pala.



*Foto N° 21: Procedimiento de corte de capas de fibra de vidrio usando plantilla.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.*

Paso 03:

Preparación de la resina

Para construir una pala se requiere preparar el material, para lo cual se debe seguir el mismo procedimiento usado en el caso del generador mostrado en el gráfico N° 17.

Para el caso del aerogenerador diseñado en Soluciones Prácticas - ITDG se utilizaron las siguientes cantidades para la fabricación de una pala:

- 1 kilo de resina poliéster,
- 0,35 kg de fibra de vidrio (1 m² para las tres palas),
- de 5% a 15% de disolvente (ello depende de la característica de la resina)
- 2,5% de cobalto, y
- 60 gotas de MEK (ello puede variar dependiendo de la estación del año).

Es posible preparar material compuesto (resina, disolvente y cobalto) en un solo depósito para las tres palas, las gotas de MEK se colocan solo a la porción que se va emplear en el instante y cuando todo está listo y se va empezar a poner las capas de fibra sobre el molde, de no ser así pasado cierto tiempo, 20 minutos o menos dependiendo de la temperatura ambiente, el material se solidifica.

El material compuesto sin MEK no sufre daños y puede ser guardado por varios días para ir usándolo en la construcción de cada una de las palas.

Paso 04:

Fabricación de la pala

- 1.- Limpiar los moldes de cualquier residuo o polvo acumulado, y colocarlos sobre una mesa de trabajo. El molde de la parte frontal va primero al borde de la mesa, éste es el que tiene menor concavidad. El molde de la parte posterior va segundo, que es el más cóncavo y, por lo tanto, el de mayor profundidad. Cuando se construye una pala, se debe respetar esta posición.
- 2.- Colocar una primera capa de desmoldante, alcohol polivinílico, para lo cual se puede usar un pedazo de tela de algodón u otro similar, cuando el molde es nuevo y es la primera vez que se va utilizar. Se tiene que aplicar con desmoldante de 5 a 6 veces. Después de cada aplicación de una capa de desmoldante se debe dejar secar el tiempo necesario, dependiendo del clima, lo cual puede tardar de 30 minutos a una hora. Para molde de uso frecuente aplicar dos veces desmoldante.
- 3.- Una vez preparado el molde con el desmoldante, y teniendo preparada también la resina, separar en un depósito pequeño (ver foto N° 18) una porción de ésta última. Luego, colocar a esta porción diez gotas de MEK y mezclar. Después, utilizando una brocha pequeña, colocar la primera capa de resina a cada molde. Por último, dejar secar de 20 a 30 minutos, dependiendo de la temperatura del ambiente.
- 4.- Una vez secada la primera capa de resina, debemos colocar 50 o más gotas de MEK a la porción de resina para la construcción de una pala (aunque en zonas calurosas podría ser menos) y removerlas para hacer la combinación.
- 5.- Enseguida, colocar la primera capa de fibra de vidrio sobre los moldes y empezar a humectar con la brocha, dando pequeños golpes sobre la capa en cuestión, hasta que quede totalmente humectada. Asimismo, se deben eliminar las burbujas de aire que puedan formarse con empleo de un roldillo.
- 6.- Colocar una segunda capa de fibra de vidrio sobre cada molde y humectar totalmente. Luego colocar una tercera capa de fibra de vidrio de solo 40 cm de largo.
- 7.- Colocar en los bordes adyacentes de los moldes una cinta de fibra de vidrio y humectar; enseguida, colocar una segunda cinta en los mismos bordes.
- 8.- Una vez concluido el proceso de ubicación de las capas de fibra debemos desmenuzar los retazos de fibra que todavía queden y combinarlos con la resina, con la finalidad de obtener una masa conjunta de ambos elementos. Parte de esta masa debe ser colocada en la base de cada molde, y llenada completamente. La parte restante debe colocarse a lo largo de los bordes de los moldes.

Paso 05

Como última parte del trabajo se debe colocar el molde N° 2 sobre el molde N° 1 y unirlos por medio de cuatro mordazas: una de ellas en la base, una en la punta, y dos en el centro de cada lado (ver foto N° 24). Debemos dejar secar de 24 a 36 horas, lo cual depende de la temperatura del ambiente. Finalmente, separemos la pieza de los moldes y empleemos dos desarmadores planos como palanca.

En los bordes de la pala quedan algunas rebabas que deben ser cortadas con ayuda de una cuchilla. Para darle un mejor acabado al producto, se puede pasar sobre los bordes una lija N° 120. Las fotos 22 a 25 muestran el proceso de construcción de la pala; el gráfico 28, por su parte, muestra la curva de potencia del aerogenerador versus la velocidad del viento.

Nota: Para tener palas de un color determinado solo debe agregarse tinte a la resina y mezclar. Si no se utiliza tinte, se puede emplear pintura al duco; también podría aplicarse, después del secado, pintura con soplete y compresora.

Es muy probable que las primeras fabricaciones de palas no sean muy exitosas, por lo que se recomienda hacer una evaluación a la pala una vez fabricada con la finalidad de corregir fallas probables en un siguiente proceso de construcción.

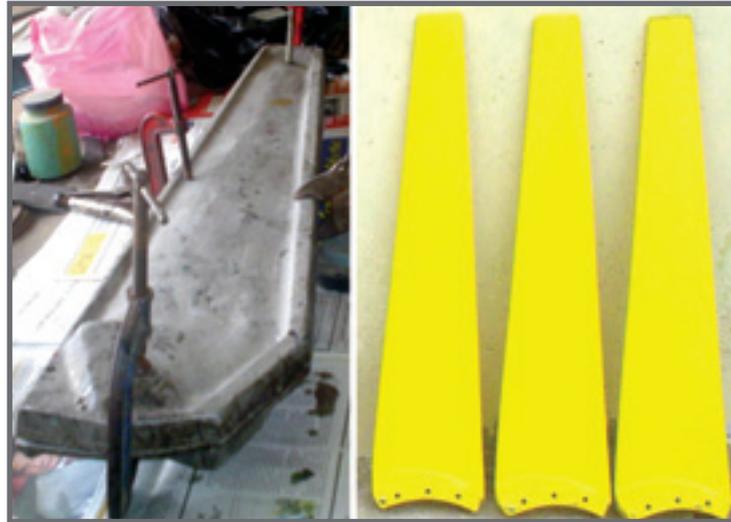
Seguidamente, presentamos un conjunto de **posibles errores**, registrados en nuestros ensayos y pruebas.

- Al momento de sacar la pieza del molde es muy posible que éste se adhiera, con lo que será difícil retirarla, malográndola debido al esfuerzo que habría que hacer. Generalmente, esto sucede cuando no se le ha aplicado suficiente desmoldante, o no se ha dejado secar adecuadamente.
- Si la superficie de la pala presenta rajaduras y es muy quebradiza, entonces se usó demasiado cobalto.
- Si la pala demora más de 24 horas en secar, entonces no se usó la cantidad suficiente de gotas de MEK, por lo que recomendamos el empleo de 40 a 70 gotas, dependiendo de la estación del año.
- Si alguna parte del borde superior tiene aberturas, posiblemente las cintas de fibra no han sido colocadas adecuadamente. Para corregir el error, hay que colocar las cintas 2 mm hacia afuera y humectar correctamente con resina.
- Si a lo largo de la pala se notan zonas blancas, entonces la fibra de vidrio no fue humectada correctamente.
- Para verificar si la parte de la base fue llenada totalmente, debemos hacer un corte transversal con ayuda de un arco de cierra e inspeccionar si la base donde se hacen los agujeros para pasar los pernos de acople y se fija la pala con el generador, está completamente sólida y no hay vacíos, huecos ni zonas mal humectadas por falta de resina.
- Si la pala presentara pequeñas aberturas en el borde superior, entonces podría emplearse resina para una óptima unión entre las partes.

Nota: A partir de los errores se pueden obtener muchas conclusiones útiles para el proceso de construcción; por ello, resulta importante su registro, para corregirlos y mejorar paso a paso nuestro método de trabajo.



Fotos N° 22 y 23: Aplicación de la primera capa de resina (izquierda).
 Modo de aplicación de resina para romper burbujas (derecha).
 Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.



Fotos N° 24 y 25: Molde final para la solidificación de la resina (izquierda).
 Palas listas para acoplarse al generador (derecha).
 Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

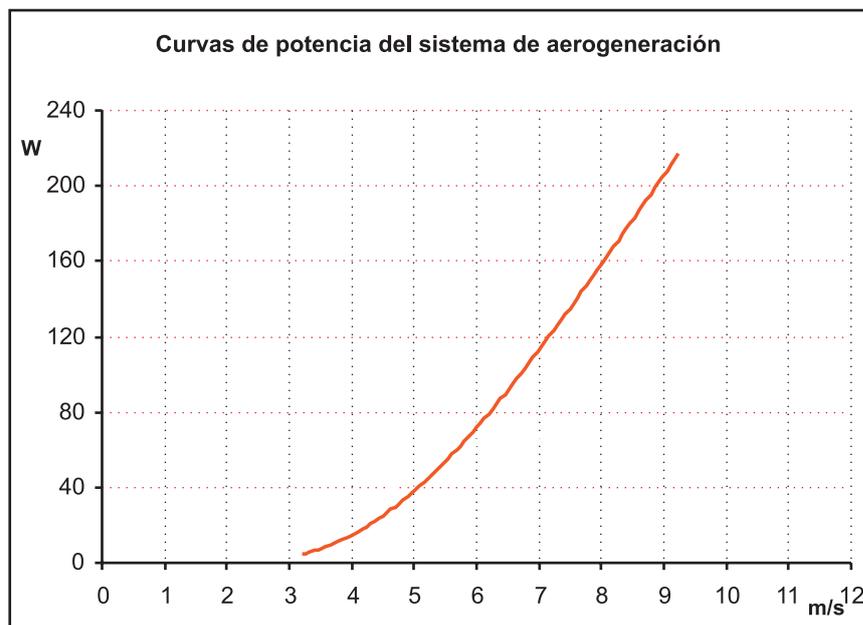


Gráfico N° 28: Curva de potencia versus velocidad del viento.
 Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

3. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL BASTIDOR, LA VELETA Y EL CONO

3.1 Introducción

El bastidor es un mecanismo donde se fija el eje del rotor eólico y la veleta, que cumple una función muy importante en el aerogenerador: gira alrededor del poste, respondiendo a la orientación de la vela, y coloca al rotor frontal en la corriente de aire predominante. Para su construcción, se requiere preparar por separado varias piezas, las que después serán unidas por medio de una soldadura (ver foto N° 26).

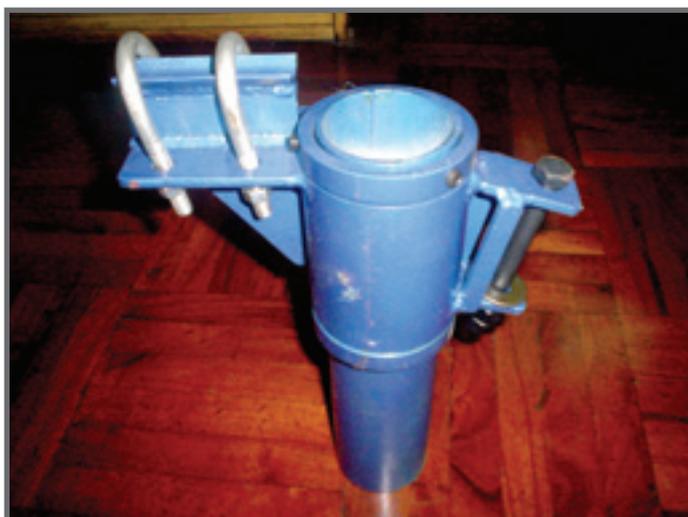


Foto N° 26: Bastidor terminado
Fuente: Soluciones Prácticas - ITDG

En los siguientes puntos se presentan los materiales, las medidas, los diseños y la forma de construcción utilizados en la fabricación del bastidor del aerogenerador modelo IT-PE-100.

3.2 Materiales para la construcción del bastidor

Los materiales utilizados para la construcción del bastidor son:

- Tubo de medida estándar: 300 mm de largo y diámetro de 2,5'';
- tubo de 167 mm de longitud estándar y diámetro de 3,5'';
- tubo de 90 mm de largo, con 1'' de diámetro y 3 mm de espesor; y
- un pedazo de plancha de acero de 4 mm, para la construcción de los accesorios.

3.3 Preparación y ensamblaje de los accesorios

Antes de ensamblar o soldar las diversas partes, es necesario preparar algunos materiales. A continuación, les explicamos el proceso seguido para ello:

- Cortar dos anillos de 15 mm de alto del tubo de 3'' (ver foto N° 26). Uno va soldado al tubo principal, que es donde se asienta el bastidor; el segundo anillo se muestra en la parte superior y sirve como tope, va fijado con tres prisioneros. Las partes o piezas para la construcción del bastidor se muestran en la foto N° 27.
- Preparar una plancha de un lado rectangular y otro curvado con radio de 45 mm con cuatro agujeros de ½'', la cual cumplirá la función de plataforma de apoyo del eje (ver fotos N° 26 y 27).
- Preparar un triángulo rectángulo de 70 x 80 x 6 mm, que se usa de apoyo a la plataforma. Un lado va soldado al tubo y el otro a la plataforma.
- Sobre la plataforma se coloca una pequeña plancha rectangular de 95 x 30 mm y, sobre ésta se une con soldadura la canaleta de tubo que sirve de apoyo al eje. Dicha canaleta se obtiene dividiendo el diámetro del tubo de 90 mm en tres partes iguales.
- En el lado opuesto a la plataforma se debe colocar dos platinas formando un ángulo de 12° con el plano horizontal del tubo; ellas deben medir 68 x 40 x 6 mm, y tener un agujero de ½'', con 126,8 mm de separación vertical, ver gráfico N° 29, cada una va soldada al tubo y con refuerzos de platinas verticales en cada lado (ver foto N° 28).



Foto N° 27: Componentes del bastidor.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.



Foto N° 28: Bastidor armado.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

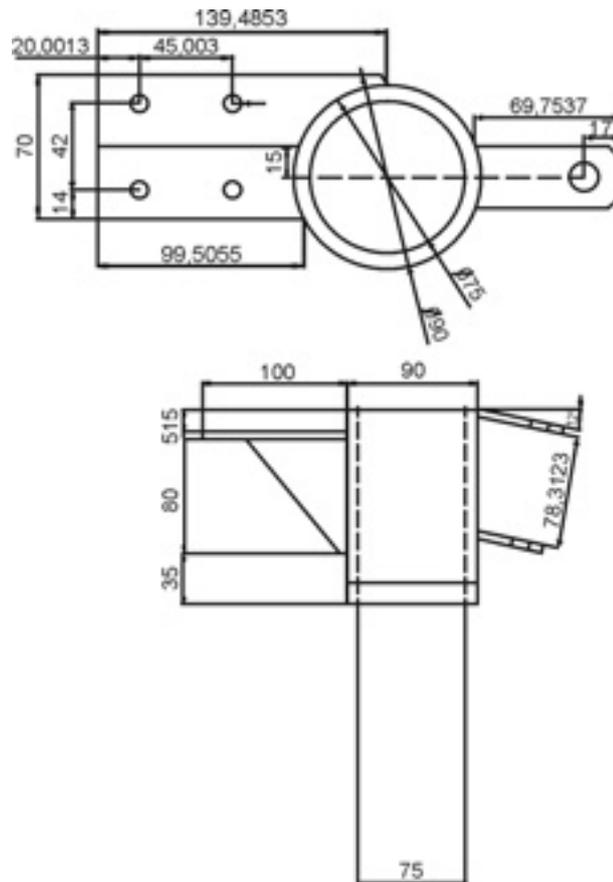


Gráfico N° 29: Dimensiones del bastidor.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

3.4 Fabricación de la veleta

La fabricación de este componente no tiene mayor complicación. Una vez que se tiene el diseño, se requiere cortar los materiales de acuerdo con las dimensiones del gráfico.

El diseño que se hizo está compuesto de una plancha en forma de trapecio, con tres lados semicirculares y uno recto. Esta plancha está unida por soldadura a un tubo, que además dispone de otro tubo de menor tamaño como refuerzo.

La base tiene una pequeña platina donde están soldados los tubos en un lado y, en el otro, está una platina con agujeros que sirven para acoplar la veleta al bastidor por medio de un perno y una contratuerca.

Materiales

Los materiales utilizados para su fabricación son: una plancha galvanizada de un espesor de 1,5 mm y un tubo de 3/4" de diámetro, con un espesor de 2 mm. Si observamos su construcción en las fotos y gráficos siguientes podemos ver que empieza en forma de punta y termina en forma rectangular, con las esquinas semicirculares. La base que va acoplada al tornamesa tiene dos platinas con agujeros de 1/2", similares a las que van soldadas al tubo principal; además tienen una inclinación de 12°.



Foto N° 29: Veleta
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

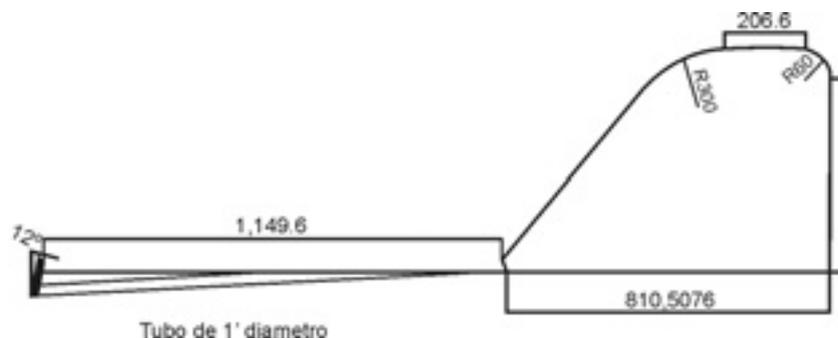


Gráfico N° 30: Dimensiones de la veleta
Fuente: Elaboración propia / Soluciones Prácticas – ITDG.

3.5 Cono

El rotor lleva un complemento en la parte frontal, que es llamado cono y que tiene por función facilitar el paso de la corriente de aire, evitando perturbaciones del flujo y aprovechando de esta manera mejor el recurso. Su fabricación es de fibra de vidrio y resina. Para su fabricación se hace un molde. La foto N° 30 muestra el cono fabricado y el gráfico N° 31 muestra las dimensiones respectivas.

Su elaboración es sencilla, y cualquier persona con algo de experiencia en el manejo de la fibra de vidrio puede construirlo.



Foto N° 30: Cono fabricado en fibra de vidrio.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

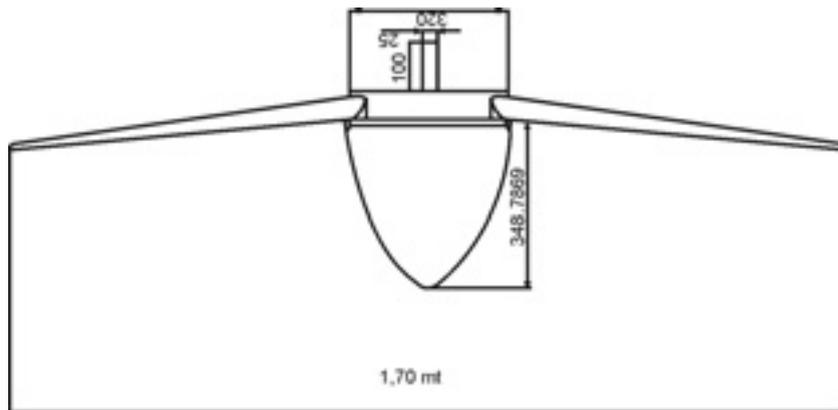


Gráfico N° 31: Dimensiones del cono.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

4. INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

4.1 Introducción

Basándonos en las diferentes experiencias de personas involucradas, tales como investigadores, fabricantes y usuarios, en la mejora del sistema que hemos ido desarrollando en los puntos anteriores, hemos sintetizado las experiencias adquiridas en la instalación y el mantenimiento del mismo, creando una "guía práctica". Esta guía tiene por objeto explicar las acciones y necesidades para la preparación de la torre, los anclajes y el ensamble de los componentes del aerogenerador, así como facilitar el trabajo de campo que sea necesario llevar a cabo. Partiendo de que ésta es una síntesis de experiencias y métodos utilizados, sabemos que pueden existir otras maneras diferentes, e incluso mejores, de llevar a cabo una labor como ésta. En todo caso, las estrategias aquí presentadas son el resultado de nuestra propia experiencia.

El armado de los componentes del equipo y la instalación son relativamente simples para alturas comprendidas entre 6 y 8 m. En los siguientes puntos se presenta todo lo necesario para ello, así como para su posterior mantenimiento.

4.2 Componentes y accesorios del sistema

A lo largo de los puntos anteriores, hemos ido viendo cómo se han ido fabricando cada uno de los componentes del IT-PE-100. En el momento de la instalación, los componentes y accesorios más importantes a tener en cuenta son:

- 1.- Cono,
- 2.- generador eléctrico,
- 3.- veleta,
- 4.- bastidor,
- 5.- palas,
- 6.- templadores,
- 7.- pernos para acople de las palas y cono, y
- 8.- caja con diodos rectificadores.

LEYENDA

- 1.- Cono
- 2.- Generador eléctrico
- 3.- Veleta
- 4.- Bastidor
- 5.- Palas
- 6.- Templadores
- 7.- Pernos para el acople de las palas y el cono
- 8.- Caja con diodos rectificadores



Foto N° 31: Componentes del aerogenerador
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

4.3 Preparación de la estructura

Características de la torre

Para la instalación del aerogenerador se requiere preparar una estructura que soporte la máquina. La construcción está en función de la altura en que se instalará el equipo, la que depende de la velocidad del viento, las características orográficas del lugar, las vías de acceso, entre otros aspectos. Para la instalación del IT-PE-100 no se requiere armar grandes y complicadas estructuras; así, para alturas de 6 a 8 m se debe usar como torre un tubo galvanizado estándar de 2,5'' y 3'' respectivamente, con espesores de 4 mm. Para mayores alturas se requiere preparar estructuras metálicas más robustas, de forma cónica, torres triangulares u otras.

Acondicionamiento de la torre y preparación de anclajes

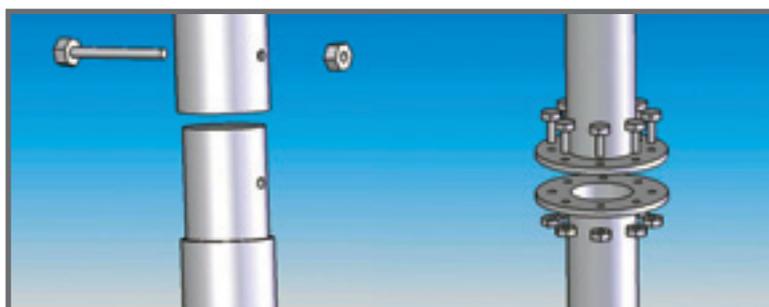
Para instalaciones a alturas de 6 m a 8 m se debe acondicionar un tubo galvanizado con diámetros de 2,5'' y 3'', fácil de ubicarse en el mercado. Para su acondicionamiento hay que considerar diferentes aspectos y ver la forma más adecuada de preparar el poste. Si hay los accesos adecuados y la movilidad apropiada para transportar el tubo completo hasta el punto donde se realizará la instalación, entonces el acondicionamiento no representará mucho trabajo. Si las condiciones de acceso no son las adecuadas al tubo, éste se puede cortar en dos o tres partes iguales, lo cual requiere preparar mecanismos adecuados para ensamblar el poste en campo. Cada forma o tipo seleccionado tiene sus ventajas y desventajas.

Si decidimos usar un poste completo ello tiene la ventaja de ser una pieza con una mejor solidez y resistencia, menor trabajo en su acondicionamiento. Esto sería lo ideal, pero por el tamaño (6 m) tiene también la desventaja que requiere del transporte para su traslado al punto de instalación, por ello no es recomendable por el costo, esto es si solo se va instalar un sólo

equipo, pues si el proyecto contempla la instalación de varios sistemas de aerogeneración lo recomendable es contratar un transporte para llevar todos los equipos, postes y accesorios.

En el segundo caso, el poste se divide en dos o tres partes iguales y puede ser unido de diferentes formas. Una forma sería preparar las uniones con retazos de tubos de 10 cm de largo y con diámetros exteriores que se acoplen internamente al diámetro del tubo principal. Una parte de este retazo va unida con soldadura, y la otra parte debe llevar un perno que atraviese el tubo (ver gráfico N° 32). Para una mejor rigidez del poste, los acoples deben ser exactos y no debe haber holguras. Al usar soldadura, el tubo pierde la capa galvanizada en las uniones y queda expuesto a la corrosión, por lo que estas superficies deben protegerse con pintura anticorrosiva.

Otra forma de unir el poste es a través de bridas y pernos (ver gráfico N° 33). Con esta opción se obtiene una mejor rigidez y firmeza, aunque requiere de más trabajo y costo.



Gráficos N° 32 y 33: Dos formas de unión del tubo.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

Materiales requeridos para armar la estructura de 6 m

Los materiales básicos para armar una estructura de 6 m como la que se ha utilizado en la instalación de los diferentes IT-PE-100 son:

- 1 tubo galvanizado de 6 m, y diámetro de 2,5", con un espesor de 4 mm para la torre;
- 1 varilla de hierro liso de ½" de diámetro y de 6 m de largo;
- 4 pernos de 5/8" con tuercas (para la base de la torre);
- 3 argollas;
- 1 plancha de hierro de 500 x 500 x 6 mm (para la bisagra);
- 250 mm de tubo de 3/8" de diámetro y 2,5 mm de espesor (para la bisagra);
- 250 mm de varilla de hierro liso de 3/8" u otro similar (para el pin de la bisagra);
- 300 mm de tubo (opcional para la unión de poste, si éste es partido en tres partes);
- 4 ó 6 pernos (opcional, para la unión del poste dependiendo de las divisiones del tubo);
- 4 ó 6 bridas (opcional, para la unión del poste, dependiendo de las divisiones del tubo);
- 16 pernos de 3/8" x 1¾" con tuercas, arandelas planas y de presión (opcional, para la unión del poste por medio de las bridas); y
- máquina soldadora.

Procedimiento

En un extremo del tubo, se debe unir por medio de soldadura el apoyo del bastidor enviado con el aerogenerador. Luego de ello, cortar la plancha de 500 x 500 x 6 mm en dos partes iguales, con las que se construirá una bisagra. Después, proceder a cortar el tubo de 250 mm de largo con 3/8" en tres partes iguales.

Luego se prepara el anclaje para la base del poste con varillas de 0,50 m de largo y ½" de diámetro; en un extremo debe llevar dos ganchos, y en el otro deben ir unidos por soldadura a una de las planchas cuadradas de 250 x 250 x 6 mm (ver gráfico N° 34). Esta plancha forma parte de la bisagra que se describe en el siguiente punto.

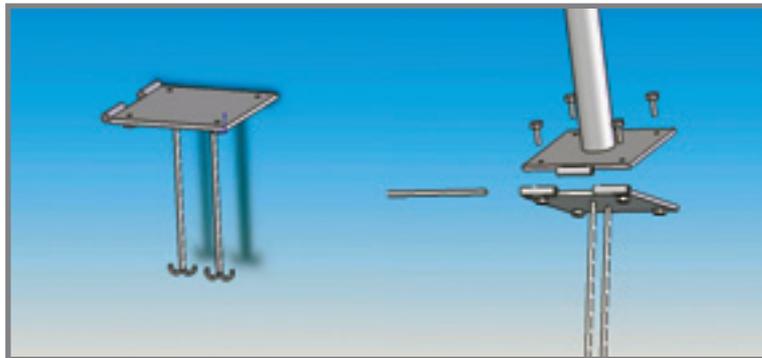


Gráfico N° 34 y 35: Bisagra completa (izquierda). Plancha con los dos anclajes (derecha).
Fuente: Elaboración propia / Soluciones Prácticas – ITDG.

Se debe preparar una bisagra similar a las que se utilizan en las puertas, pero en este caso debe ser mucho más grande y resistente. Unir, por medio de soldadura en el borde de la plancha, un tubo en cada extremo dejando el centro libre. También debe hacerse a esta plancha cuatro agujeros de $\frac{3}{4}$ " de diámetro y, luego, soldar en la parte inferior de la plancha y en dirección de los agujeros, tuercas de diámetro $\frac{3}{4}$ " (ver gráfico N° 34).

La segunda parte de la bisagra debe ser una plancha similar a la primera. En el borde central debe soldarse el tercer pedazo de tubo de 8,30 cm. En la parte central de la plancha soldar el tubo de $2\frac{1}{2}$ " (lo que viene a ser la torre) (ver gráfico N°34). Esta plancha también debe tener cuatro agujeros de $\frac{3}{4}$ " de diámetro, que deben coincidir con agujeros de la otra parte de la bisagra (ver gráfico N° 35).

Luego se deben preparar tres anclajes similares para los tensores, para lo cual se requiere de una varilla de hierro liso, o de construcción, de 0,50 m de largo y $\frac{1}{2}$ " de diámetro. En un extremo debe tener doble gancho y en el otro extremo debe tener una argolla unida por soldadura (ver gráfico N° 36).

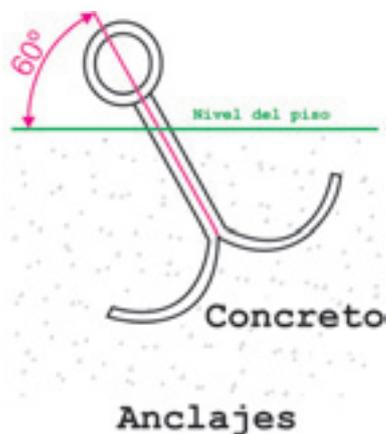


Gráfico N° 36: Anclaje para los tensores.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

Se debe hacer un agujero de $\frac{1}{2}$ " de diámetro al tubo, a una altura de 1,80 m de la base. Dicho agujero sirve de salida de los conductores eléctricos a la caja de los diodos.

El tubo en la base debe tener un pequeño agujero de $\frac{1}{4}$ " con la finalidad de que salga el agua que pueda haber ingresado cuando se presenten lluvias. Sin embargo, si el bastidor lleva un dispositivo en la punta que evite el ingreso de agua, entonces el agujero en la parte inferior ya no será necesario.

Colocar alrededor del tubo tres argollas en forma equidistante, por medio de soldadura. Estas argollas deben colocarse a una distancia de 1 m, tomando como referencia el extremo del bastidor. De la misma forma, colocar otras tres argollas a una distancia de 3 m, tomando como referencia la parte superior del bastidor. Estas argollas son para fijar los tensores que pueden

ser alambres de hierro galvanizado o cables de acero.

En el caso de que la caja de diodos se ubique en la torre, preparar un ángulo de metal tipo L para fijar la mencionada caja de acuerdo con sus dimensiones. Este ángulo tipo L debe estar unido por soldadura a la torre.

Para alturas de 8 m el poste debe tener un diámetro de 3". Ahora bien, en el mercado solo existen postes de 6 m, por lo cual se debe unir por medio de soldadura la longitud requerida para lograr esta altura. Los materiales requeridos son los mismos que se utilizan para armar la estructura de 6 m.

Luego debemos seguir el mismo procedimiento para acondicionar el poste ya explicado en el caso anterior, pero además hay que adicionar tres argollas, ya que la altura de la torre aumenta y, por lo tanto, tendrá que llevar tres tensores adicionales. De esta manera, los tensores irán ubicados, uno a la altura de 1 m desde la punta del bastidor, el otro a 3 m, y el tercero a 5 m de la parte superior del bastidor.

Cimentación de la torre

En la instalación de cualquier máquina que aprovecha el viento para generar potencia deben considerarse las características topográficas del terreno. El emplazamiento debe realizarse en un área libre de obstáculos, como plantas o casas, que distorsionen las corrientes de aire, que generen turbulencias y afecten el rendimiento del equipo.

La cimentación de los anclajes debe hacerse cuatro días antes del montaje e izamiento del aerogenerador (dependiendo del clima, en algunos casos, podrían ser más días), tiempo necesario para que el concreto fragüe y alcance su resistencia óptima.

Veamos los materiales requeridos para la instalación del IT-PE-100:

- 1.5
- 2 bolas de cemento de 50 kg,
 - hormigón y ripio,
 - piedras medianas, y
 - agua.

En el campo, elegir un punto donde se va a instalar el aerogenerador. Este punto será el lugar donde se coloca el anclaje con la bisagra para fijar el poste y que se toma como centro de referencia de un círculo de 4 m de radio. Sobre el borde del círculo fijar tres puntos equidistantes para colocar los anclajes para los tensores (gráfico N° 37).

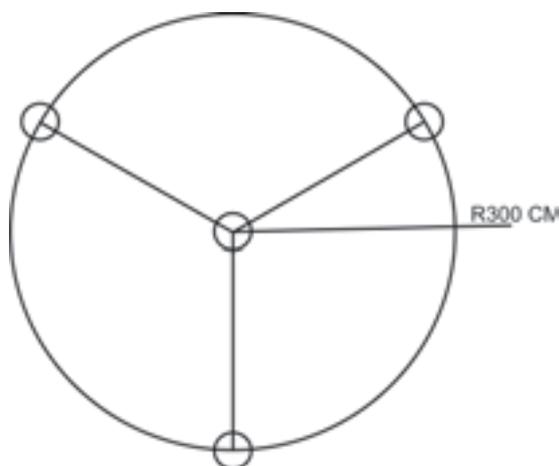


Gráfico N° 37: Circunferencia con los puntos para los anclajes.
Fuente: Elaboración propia / Soluciones Prácticas – ITDG.

En el centro del círculo hacer un hoyo de dimensiones de 0,50 x 0,50 x 0,80 m para realizar la cimentación del anclaje. Aquí se debe fijar la mitad de la bisagra con una mezcla de concreto y piedra mediana (ver gráfico N° 38).

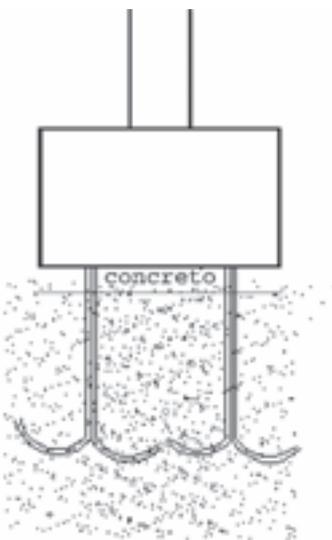


Gráfico N° 38

Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

Para fijar los anclajes de los tensores, hacer hoyos de 0,40 x 0,40 x 0,50 m, colocar el anclaje con el ojal o argolla de tal manera que forme un ángulo de 60° con respecto al piso en dirección al centro del círculo. Para el llenado, podemos emplear una mezcla similar a la anterior (concreto y piedra mediana).

Para la cimentación del poste de 8 m se debe elegir un punto donde se vaya a instalar la estructura. Para este caso, el radio del círculo es de 4 m. Fijar 3 puntos equidistantes sobre el borde del círculo para los anclajes.

El procedimiento de cimentación es similar al que se realiza para el poste de 6 m.

4.4 Armado de la estructura y los componentes

Antes salir al campo a instalar un aerogenerador modelo IT-PE-100, se debe verificar la lista de todos los componentes y accesorios que son requeridos para la instalación.

- (1) Tres palas de la turbina enumeradas del uno al tres,
- (2) generador eléctrico,
- (3) anillo con agujeros para el acople de las palas,
- (4) veleta,
- (5) bastidor,
- (6) 9 pernos N° 5/16 x 3",
- (7) 18 arandelas planas 5/16,
- (8) 9 tuercas N° 5/16,
- (9) 9 arandelas de presión N° 5/16,
- (10) 1 caja con un circuito de diodos,
- (11) 4 pernos de 3/8 x 1",
- (12) 10 cm de tubo plástico pvc de ½",
- (13) 3 cables eléctricos N° 8 AWG, de 10 m cada uno,
- (14) cinta aislante de dos colores distintos (una debe ser roja),
- (15) 3 prisioneros de 3/8,
- (16) grasa gruesa,
- (17) stobe bolts (tornillos),
- (18) cable mellizo N° 8 AWG,
- (19) 10 conectores,

- (20) 2 conectores para batería,
- (21) 6 templadores N° 10,
- (22) alambre galvanizado N° 8,
- (23) $\frac{1}{4}$ de kilo de clavos de $1\frac{1}{2}$ " , y
- (24) 2 abrazaderas tipo U con pernos y arandela plana y de presión.

Herramientas necesarias y requeridas para el trabajo de montaje e instalación:

- 1) Llave mixta de $\frac{1}{2}$ " ,
- 2) llave francesa (pequeña) de 6" ,
- 3) llave hexagonal (Allen) N° 3/16, para prisioneros de 3/8, y
- 4) desarmador plano y estrella.

a) Armado de la estructura

El poste debe ser unido al anclaje por medio de la bisagra, colocando el pin de unión (varilla o eje sólido). Luego se debe colocar el extremo final del poste sobre cualquier apoyo, que podría ser un cilindro, o preparar uno con dos maderos amarrados en forma de X. Para un mejor apoyo, hacer un pequeño agujero en el suelo, para tener una mejor fijación y firmeza (ver foto N° 32).



Foto N° 32: Tubo apoyado en dos maderos armados en campos.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

b) Armado de los tensores

- Para el poste de 6 m, colocar en cada argolla unida al poste los tensores. Para la parte superior tiene que cortarse 3 pedazos de alambre de 7 m de longitud; de igual manera, cortar 3 pedazos de alambre de 5 m de longitud. Para armar los tensores inferiores (ver gráfico N° 39) en los otros extremos de los tensores colocar los templadores, que a la vez van enganchados a la argolla del anclaje. Antes de proceder a cortar el alambre se debe considerar la longitud de templador y éste debe estar totalmente abierto.
- Los cables tensores para el poste de 8 m son, aproximadamente, 8,30 m para los tensores superiores y 7 m para armar los tensores inferiores.

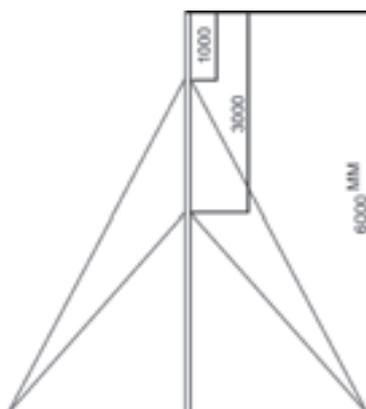


Gráfico N° 39: Poste de 6 m con los armados de tensores.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

c) Ensamble de los componentes

Para acoplar las palas al generador en el caso del IT-PE-100, hay que guiarse por la numeración que ambos tienen: del uno al tres; para este trabajo, siga el siguiente procedimiento.

Colocar el bastidor en el poste, habiéndose aplicado antes grasa gruesa tanto en la zona interna del bastidor como en la superficie donde se ubicará (ver foto N° 33). Este componente lleva un punto de engrase exterior que permite colocar el lubricante con una grasera. Colocado el bastidor, a continuación, en el extremo de la torre se coloca un anillo que sirve de tope. Este anillo es sujetado con tres prisioneros que están colocados alrededor de este e impide que el bastidor pueda salirse del poste.

Posteriormente, se debe colocar el eje del generador eléctrico sobre la canaleta o asiento de apoyo que se encuentra en el bastidor sujetado con los dos pernos tipo U (abrazaderas); hay que tener en cuenta que el rotor debe tener una separación mínima del asiento o apoyo del eje, aproximadamente, de 6 mm a 10 mm. Esto es muy importante para que exista un equilibrio entre el rotor y la veleta (ver foto N° 34).



Fotos N° 33 y 34: Bastidor y colocación de grasa (izquierda).
 Generador sujetado por abrazaderas tipo U (derecha).
 Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

Terminado de fijar el generador al bastidor, mediante su eje, se debe acoplar cada pala al rotor del generador por medio de tres pernos. Estos deben ser colocados de tal manera que la cabeza del perno quede en la parte frontal y debe llevar una arandela plana al inicio, y en el otro lado una arandela de presión, el perno del centro lleva soldada una tuerca que permite el acople del cono. Finalmente, hacer el ajuste correspondiente con la tuerca.

El ensamble de las palas al generador debe ser con la parte cóncava en posición frontal, y la convexa va en dirección opuesta, dirección del eje. En palabras más sencillas, la parte más delgada de la pala debe ser colocada hacia abajo (ver foto N° 35).

El acople de las palas al generador se hace una a una, de acuerdo con la numeración 1-1,2-2,3-3. Esta numeración, desde luego, representa la posición de las palas cuando ya se ha balanceado; si dicho proceso previo no hubiera sido llevado a cabo, el equipo quedaría desbalanceado y es muy posible que se presenten vibraciones que afectarán a todo el sistema.

Los pernos no deben ser ajustados exageradamente. Terminado el acople de las palas, el rotor junto con las palas deben girar con facilidad, con un pequeño movimiento efectuado con la mano; de no ser así, la explicación reside en el hecho de que los pernos fueron colocados demasiado ajustados, por lo que se deben aflojar un poco.



Foto N° 35: Acople de la pala donde la parte más plana es colocada hacia abajo.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

d) Ensamble de la veleta

La veleta va unida al bastidor por medio de un perno con contratuerca que le permite tener un giro libre, este mecanismo es el que pone al sistema en forma paralela (frontal) al rotor eólico cuando la velocidad supera los 12 m/s.

e) Conexión eléctrica

Para realizar las conexiones de los cables que salen del generador, debemos seguir los siguientes pasos, considerando que las conexiones a la caja de diodos se deben realizar después de haberse izado el poste.

- (1) Los conductores eléctricos que salen del eje del generador deben ser protegidos por medio de una tubería de plástico o manguera de 20 cm de largo; parte de esta tubería o manguera debe ir insertada al eje. La finalidad de colocar este dispositivo es que debido a los cambios de dirección del viento es muy posible que los conductores rocen con el filo del tubo (torre) y puedan generar alguna avería.
- (2) Pasar los tres conductores por el interior del tubo o poste que deben salir por el agujero que se encuentra a 1,80 m de la base. Para tal efecto y facilidad, debemos empalmar con cinta aislante los cables a un trozo de alambre que se haya usado para los tensores y que sirva como guía.
- (3) Haga las conexiones o empalmes de los tres cables que bajan a la caja de diodos, debe respetar los colores de cables sin olvidar poner cinta aislante en los empalmes (ver foto N° 36).



Foto N° 36: Empalmes de conductores eléctricos.
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

- (4) Este paso debe realizarlo después de haber izado el poste. Hay que conectar cada línea a la bornera que se encuentra dentro de la caja de conexiones, siempre respetando el color de los cables (ver gráfico N° 40). Si la caja de diodos no tuviera las conexiones necesarias, debe realizarlas siguiendo los siguientes pasos descritos.
- (5) Tomando en cuenta que cada diodo tiene cuatro terminales dos AC, uno positivo y otro negativo, conectemos dos líneas que vienen del generador a los terminales AC de uno los diodos, que se encuentran opuestos entre sí (ver gráfico N°40).
- (5) La tercera línea que viene del generador debe ir conectada a un terminal AC del otro diodo.
- (6) De cada terminal positivo de los diodos debe salir un cable y unirse en un punto común de la bornera; a su vez, de este punto debe salir el cable que va conectado al terminal positivo de la batería.
- (7) De cada terminal negativo de los diodos debe salir un cable y unirse en un punto común de la bornera, de este punto debe salir la línea negativa que va a la batería.
- (8) Para transportar la energía desde la caja de diodos hasta el regulador y batería debe utilizarse un cable N° 10 u 8. El número de cable se calcula de acuerdo con la distancia desde el poste a la batería. Pueden ser cables individuales de dos colores, rojo para el terminal positivo y negro para el terminal negativo. En su defecto, también podría emplearse un cable mellizo, más económico, en cuyo caso conviene saber que el positivo debe ser el cable que lleva letras impresas, al que se debería colocar una cinta roja para evitar confusiones, para tensar estos cables usar templadores concéntricos.

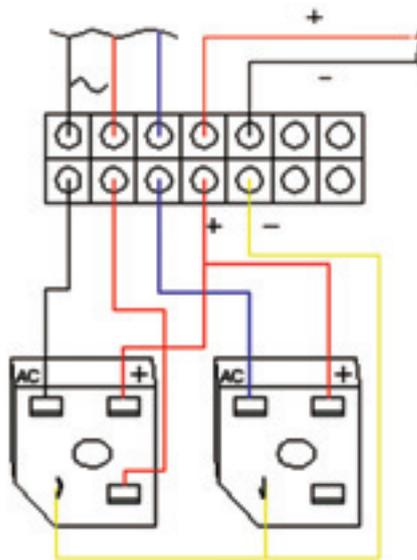


Gráfico N° 40: Forma de conexión de conductores a diodos
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

4.5 Izamiento del poste

Para el izamiento del poste se requiere de personal de apoyo, cuya cantidad dependerá del tamaño de la estructura construida. Para este trabajo se debe preparar mecanismos de ayuda, y siempre tener en cuenta la seguridad de las personas.

Preparar dos apoyos tipo T. Esto puede hacerse con dos maderas, una de 2 m y otra de 2,50 m. Este mecanismo se prepara en campo o se puede llevar preparado, pues solo se requiere de dos maderos y clavos. El apoyo tipo T debe ser bastante rugoso en el centro, lo suficiente como para impedir que el poste se deslice. Otra forma de evitar el deslizamiento es preparar los apoyos uniendo a dos maderas con una soga a unos 20 cm de las puntas en forma de horqueta o de Y.

Si el mecanismo de bisagra es el adecuado, el izamiento del poste de 6 a 8 m no requiere de grandes esfuerzos. A continuación describimos una forma de realizar esta acción.

Dos personas deben colocarse en la zona opuesta a la bisagra, cada uno cerca de un anclaje. Su trabajo es sostener los tensores de la parte superior, y evitar que el poste se incline hacia algún lado cuando se está levantando y se pierda el equilibrio.

Tres personas, o más, deben levantar el poste hasta ponerlo en forma vertical, para lo cual deben usar los apoyos preparados en forma de T u horqueta. Cuando el poste esté en forma vertical las personas que están sosteniendo los cables deberán enganchar los templadores superiores a sus respectivos anclajes, para lo cual una o dos de ellas deben permanecer en la base del poste para mantener el equilibrio. Una vez colocado en forma vertical el poste, se debe empezar a ajustar los templadores hasta lograr una tensión adecuada. Verificar que el poste quede en posición totalmente vertical, la inclinación hacia algún lado indicaría que hay una mayor tensión en ese punto.



Foto N° 37: Una forma de izamiento del poste
Fuente: Soluciones Prácticas – ITDG.

4.6 Mantenimiento del sistema de aerogeneración

Toda máquina requiere de un mantenimiento preventivo y del cambio de aquellas piezas que ya cumplieron con su ciclo de vida. Los aerogeneradores son máquinas que tienen piezas en constante movimiento y fricción, como los rodamientos o el bastidor, además de estar totalmente expuestos al medio ambiente. Si bien es cierto este tipo de aparatos son de complicado diseño, el IT-PE-100 no requiere de un mantenimiento preventivo especializado, debido a su tamaño y características constructivas.

Es de importancia que el usuario participe en la instalación y logre así una familiarización con la máquina, con el fin de verificar y reparar potenciales fallas futuras, o que una persona de la zona esté capacitada para prestar asistencia técnica si ésta es requerida para cualquier reparación menor.

Lo que sí requiere de cuidado es la verificación de los tensores, que tienden a aflojarse con el tiempo si se presentan con fuertes vientos de manera frecuente; por ello, es necesario prestar atención continuamente y ajustar los tensores, pues un descuido puede ocasionar que estos salgan de las argollas de los anclajes, produciendo la caída del poste y el rompimiento de las palas. Por ello, es necesario asegurar y hacer una verificación continua.

Si se presentan velocidades de viento fuertes, fuera de las normales, es recomendable detener el equipo y evitar así daños no previstos, para lo cual el equipo debe ponerse en dirección opuesta del viento. Para ello, antes del izamiento, se debe colocar en la veleta una cuerda que cuelgue para poder rápidamente sacar al equipo de operación y amarrarse al poste. Si en caso usted no esté en casa por algunos días es mejor dejar el equipo fuera de operación.

Toda máquina que se encuentra operando tiene un cuidado y monitoreo constante, ya sea por medios automáticos y computarizados, o con personal estable. En este caso, el usuario tiene que estar siempre prestando atención al equipo, más aún en los primeros días de su instalación.

Para llevar a cabo las acciones de mantenimiento necesarias se necesitan los siguientes materiales:

- Grasa gruesa,
- graseras,
- lija de para fierro N° 100,
- pintura anticorrosiva, y
- herramientas utilizadas para la instalación.

Bajar el aerogenerador

El trabajo más difícil que se presenta es bajar el equipo. Este trabajo requiere de ayuda de personal y de mecanismos de apoyo de manera similar que en la instalación; se recomienda tener la suficiente ayuda para poder hacer este trabajo porque se puede perder el control y dejar caer el equipo con la consecuencia de destruir las palas, y ocasionar algún accidente. El equipo debe ser bajado, apoyado en la bisagra, y cualquier desviación del peso hacia alguno de los lados puede hacer que lo afecte, lo que será difícil de reparar en el campo, ya que requerirá de soldadura. Si se emplea otra estructura más robusta de 10 ó 12 metros, con buenos cimientos, y preparada con los mecanismos para poder subir, las cosas se facilitan para bajar el equipo. Sin embargo, esto mayormente no se da por los elevados costos que representaría armar una estructura; por ello, se recomienda la instalación en postes de 6 a 8 metros.

Procedimiento

Una vez bajado el equipo, se debe verificar cada una de las partes y proceder a realizar el mantenimiento según la siguiente secuencia:

- Verificar el estado de las palas y hacer la limpieza de las mismas (si se cree conveniente, pintarlas);
- verificar y ajustar las abrazaderas que amordazan al eje del generador;
- verificar y ajustar los stobe bolts (tornillos) del cono;
- verificar el perno de unión de la veleta con el bastidor y cambiarlo en caso esté gastado;
- las partes metálicas corroídas (oxidadas) deben ser limpiadas y lijadas para ser pintadas con pintura anticorrosiva;
- verificar si hay algún sonido extraño en los rodamientos; y
- verificar las conexiones eléctricas.

Los rodamientos tienen una vida útil de cinco años aproximadamente, pero si el equipo no tiene un buen balanceo y no hay un equilibrio entre el rotor y la veleta, se presentarán vibraciones que pueden ocasionar daños a los rodamientos. En tales casos, sería necesario trasladar el equipo a un taller.

Otros componentes que forman parte de un sistema de aerogeneración son la batería y el controlador electrónico. En el mercado se pueden encontrar varios modelos de batería, pero las más utilizadas son las baterías de ciclo profundo abiertas, que pueden llegar a tener una vida útil de hasta tres años con mantenimiento adecuado, aunque incluso unos seis meses en caso contrario. Para que la batería tenga un largo tiempo de vida debe tener un buen controlador electrónico de carga más el cuidado y mantenimiento necesarios. La batería debe estar colocada en un lugar libre de objetos, no expuesta al sol, y sobre un banco. También debe estar dentro de una caja. Cada cierto tiempo debe verificarse el nivel de agua, para reponerla en caso de que ello sea necesario. De igual modo, hay que hacer limpieza de los bornes.

El controlador electrónico para equipos de aerogeneración es diferente que los usados en paneles solares pues requiere tener un dispositivo de carga ficticia para disipar la energía cuando el equipo genere en exceso debido a velocidades de viento mayores a los previstos en el diseño.

El controlador de carga para sistemas eólicos pequeños como el IT-PE-100 tiene un elevado costo. En los sistemas pilotos implementados, no ha sido posible poner un controlador, por lo que la batería empleada ha sido vehículo de 100 AH, de menor costo y de promedio de vida mayor de un año. La velocidad de viento tiene mucho que ver ya que si se presentan con frecuencia velocidades mayores de 7 m/s, se genera una carga no recomendable para la batería.

5. CONCLUSIONES

En esta publicación se han presentado los avances logrados en el diseño y la construcción de un aerogenerador. De igual modo, se han podido apreciar algunos puntos que necesitan ser trabajados, tales como el sistema de seguridad y el controlador electrónico de carga.

El sistema de seguridad, que tiene la finalidad de proteger la máquina a velocidades mayores de 12 m/s, al no trabajar adecuadamente comprometería a los demás componentes, tales como al bobinado del estátor de generador eléctrico, debido a que sobre estas velocidades se genera un amperaje que los conductores de las bobinas no podrían soportar. Asimismo, también podría causar daños a las palas con posible rotura, o afectar el controlador de la batería por excesiva generación de potencia.

El sistema de seguridad y orientación en los aerogeneradores de potencias mayores ya ha sido resuelto empleando sistemas sofisticados y costosos que se justifican por las dimensiones de la máquina. Sin embargo, en este caso un equipo de 100 W requiere encontrar, diseñar y validar un sistema simple, trabajo que requiere de una evaluación continua en campo, que sigue pendiente pero con actuales iniciativas de solución.

Como decíamos, el otro punto que todavía no se ha resuelto a nivel local es el controlador electrónico de carga para proteger la batería. La batería es un componente muy sensible con el que se debe tener un cuidado especial para lograr que cumpla con la vida útil para la que fue construida. Esto solo será posible si se tiene un buen controlador que proteja este componente, que deben ser cargas con el voltaje y amperaje recomendados por los fabricantes, o ser descargas hasta los límites especificados; este tipo de controladores es diferente a los comúnmente utilizados en instalaciones solares fotovoltaicas, ya que el sistema de aerogeneración no se puede quedar sin carga (en circuito abierto) cuando la batería está cargada, pues el aerogenerador es una máquina generadora de voltaje y que está en movimiento rotativo. Si quedara en circuito abierto, muy posiblemente se presentarían fallas mecánicas, así como el embalamiento de la máquina, generando fuerzas centrífugas elevadas que afectarían las estructuras de las palas. Por ello, el controlador, además de proteger la batería, deberá tener una carga secundaria para disipar la energía excedente cuando ésta esté cargada completamente.

En el mercado internacional existen fabricantes de estos controladores pero los costos son demasiado altos y cuando hablamos de alternativas para zonas rurales los costos y la disponibilidad en el mercado local deben ser tomados en cuenta. Este también es un componente que debe ser resuelto y que debe ser parte del aerogenerador IT-PE-100. A su vez, este componente también debe cumplir con las normas técnicas y estándares que ya se han propuesto, y que están vigentes a nivel internacional. Creemos que cumplir y verificar tales disposiciones en el laboratorio es enteramente posible y necesario.

Es posible que existan otros aspectos a ser mejorados, pues somos conscientes de que ésta es una tecnología que está en proceso de desarrollo. Con todo ello, creemos que mejorando estos dos aspectos señalados se logrará obtener una tecnología casi 100% local y confiable de un costo razonable. Es por ello que resulta necesario seguir invirtiendo en el desarrollo del IT-PE-100, algo en lo que nosotros, como institución, tenemos un compromiso. Asimismo, resulta importante unir esfuerzos con otros actores para que los avances que se consigan sean de mejor calidad y los resultados conseguidos sean compartidos y utilizados para lograr nuestro fin: mejorar la calidad de vida de los menos favorecidos utilizando la tecnología.

BIBLIOGRAFÍA

Dunnett, Simon; Khennas, Smail; Piggott, Hugh. *Small wind systems for battery charging. A guide for development workers*. ITDG & DFID. Reino Unido. 2000.

ITDG. *Aerogenerador de 100 W*. ITDG Perú. 2003.

Piggot, Hugh. *The Permanent Magnet Generator (PMG): A manual for manufacturers and developers*. ITDG & DFID. Reino Unido. 2001.

Sánchez, Teodoro; Sunith, Fernando; Piggott, Hugh. *Wind rotor blade construction. Small wind systems for battery charging*. ITDG & DFID. Reino Unido. 2001.

Sánchez, Teodoro; Chiroque, José. *Evaluación y mejoras del aerogenerador ITDG modelo IT-PE-100. Artículo final en el marco del Proyecto "Estudio de las características técnicas y mejora de la confiabilidad de un aerogenerador de 100 W" financiado por CONCYTEC y ejecutado por ITDG y la UNI*. Perú. 2004.

Muljadi, E.; Butterfield, C.P.; Wan, Yih-Huei. *Axial flux, modular, permanent-magnet generator with a toroidal. Winding for wind turbine-applications*. National Wind Technology Center. National Renewable Energy Laboratory. USA. 1998

Sánchez, Teodoro, tesis para obtener el grado de ingeniero; *Bomba aspirante-impelente para 10 mt de altura y caudal de 1 lt/seg accionada por turbina eólica y proyecto banco de ensayo*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico: Universidad Nacional de Ingeniería. Perú. 1986

Theory of Wing Sections, Ira H. Abott and Albert E. Von Doenhoff, 1959

Otras publicaciones de la serie Manuales de Soluciones Prácticas – ITDG

Serie Manuales # 33:

Organización de servicios eléctricos en pequeñas poblaciones rurales aisladas

Serie Manuales # 32:

Metodologías y herramientas para la capacitación en riesgo de desastres

Serie Manuales # 31:

Reconstrucción y gestión de riesgo: una propuesta técnica y metodológica

Serie Manuales # 30:

Gestión de riesgo en los gobiernos locales

Serie Manuales # 29:

Guía metodológica para la gestión de riesgos de desastres en los centros de educación primaria

Serie Manuales # 28:

Manual de pastos y forrajes altoandinos

Serie Manuales # 27:

Manual de Gestión de Riesgo en las Instituciones Educativas

Serie Manuales # 26:

Manual para la Prevención de Desastres y Respuesta a Emergencias

Serie Manuales # 25:

Manual del Técnico Alpaquero

Serie Manuales # 24:

Manual práctico de ganadería

Para mayor información por favor dirigirse a:

Av. Jorge Chávez 275 Miraflores, Lima, Perú
Teléfonos: (51-1) 444-7055, 447-5127, 242-9714, 446-7324

Personas de contacto:

Efraín Peralta (eperalta@solucionespracticas.org.pe)
Giannina Solari (gsolari@solucionespracticas.org.pe)

Soluciones Prácticas - ITDG es un organismo de cooperación técnica internacional que contribuye al desarrollo sostenible de la población de menores recursos, mediante la investigación, aplicación y diseminación de tecnologías apropiadas. Tiene oficinas en África, Asia, Europa y América Latina. La oficina regional para América Latina tiene sede en Lima, Perú y trabaja a través de sus programas de Sistemas de producción y acceso a mercados; Energía, infraestructura y servicios básicos; Prevención de desastres y gobernabilidad local; y el Área de Comunicación e Información.

ISBN: 978-9972-47-151-3



9 789972 471513