

GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PEQUEÑA ESCALA CON ENERGÍA EÓLICA

Programa Práctico de Entrenamiento



Centro de Conservación de
Energía y del Ambiente
CENERGIA



Servicio Nacional de Adiestramiento
en Trabajo Industrial
SENATI



Energía y Medio Ambiente
ECOFYS
Utrecht – Holanda

**GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD
A PEQUEÑA ESCALA CON
ENERGÍA EÓLICA**

Programa Práctico de Entrenamiento

GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PEQUEÑA ESCALA CON ENERGÍA EÓLICA

Programa Práctico de Entrenamiento

**SENATI
CENERGIA
ECOFYS**

Utrecht/Lima 1999

Este manual ha sido elaborado por:

**Ing. Carlos Orbegozo (CENERGIA)
Ing. Dick Veldkamp (Desarrollo de Energías Renovables)
Ing. Bob Schulte (ECOFYS)
Ing. Gert J. Hoogenstrijd (ECOFYS)**

Dibujos: Amerentske Koopman

Manual publicado por:

ECOFYS ::::::::::::::::::::::

Energía y Ambiente

Kanaalweg 16-G
3526 KL Utrecht
Holanda



**Centro de Conservación de
Energía y del Ambiente**

Calle Deraín 198
San Borja – Lima 41
Perú

Todos los derechos reservados. Prohibida su reproducción parcial o total por impresión, fotografía, microfilm o por cualquier otro medio, sin autorización escrita de los editores.

Esta publicación ha sido posible gracias al aporte económico de la **Fundación Hulsebosch Prior**, Holanda.

La información contenida en esta publicación ha sido recopilada con el mayor cuidado en cuanto a su legitimidad. Sin embargo, tanto los editores como los autores quedan exentos de toda responsabilidad legal por cualquier daño o perjuicio producido como consecuencia de la aplicación de los métodos en ella descritos.

CONTENIDO

INTRODUCCION PARA LOS ESTUDIANTES	9
<i>EJERCICIOS</i>	11
<i>EJERCICIO 1: MIDA LA VELOCIDAD DEL VIENTO</i>	11
1.1 Mida la velocidad instantánea.....	11
1.2 Influencia de la altura.....	11
1.3. Influencia de obstáculos.....	11
<i>EJERCICIO 2: SELECCIÓN DEL LUGAR DE INSTALACIÓN DEL AEROGENERADOR</i>	12
<i>EJERCICIO 3: INSTALACIÓN Y MEDICIONES</i>	13
3.1 Instalación del sistema	13
3.2 Potencia instantánea.....	13
3.3 Ejercicios opcionales	14
<i>EJERCICIO 4: INSPECCIÓN DEL SISTEMA EÓLICO</i>	15
4.1 General	15
4.2. Rotor	15
4.3 Sistema para girar la cabeza.....	15
4.4 Sistema eléctrico	15
4.5 Torre.....	16
4.6 Seguridad	16
<i>EJERCICIO 5: SOLUCIÓN DE PROBLEMAS</i>	17
<i>EJERCICIO 6: CONSTRUCCIÓN E INSPECCIÓN DE UNA UNIDAD DE CONTROL OPCIONAL</i>	21
<i>EJERCICIO 7: PRECIO DE LA ELECTRICIDAD</i>	23
<i>EJERCICIO 8: CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE UN MOLINO</i>	27
<i>EJERCICIO 9: EVALUACIÓN DE LOS DATOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO</i>	27
<i>EJERCICIO 10: BATERÍA (COMPONENTES)</i>	27

<i>EJERCICIO 11: DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE POTENCIA (DISEÑO DEL SISTEMA)</i>	<i>28</i>
<i>EJERCICIO 12: ENERGÍA ELÉCTRICA (DISEÑO DEL SISTEMA)</i>	<i>28</i>
<i>EJERCICIO 13: AEROGENERADORES PARA LIMA.....</i>	<i>28</i>
<i>EJERCICIO 14: OFICINA DEL SENATI.....</i>	<i>29</i>

INTRODUCCIÓN PARA LOS ESTUDIANTES

En esta parte del modulo se analizará el uso práctico de la energía eólica, con el fin de capacitar a los participantes para la realización de mediciones y la evaluación del funcionamiento de un aerogenerador. Asimismo, los participantes podrán detectar y reparar fallas en el aerogenerador y en los componentes del sistema.

Durante las prácticas se instalará un aerogenerador pequeño y se realizarán mediciones en dicha instalación.

EJERCICIOS

EJERCICIO 1: MIDA LA VELOCIDAD DEL VIENTO

1.1 Mida la velocidad instantánea

Trasládese a un lugar abierto y coloque el anemómetro sobre el mástil a una altura determinada. Es necesario que no hay obstáculos frente al anemómetro (barlovento).

- Mida la velocidad instantánea
- Mida la corriente de aire durante 5 minutos, cada 10 segundos
- Determina la velocidad máxima en estos 5 minutos
- Calcule la potencia del viento.

- Mida la presión, la temperatura y calcule la densidad:

$$\rho = 1.225 \times (288.15/T) \times p/1013.3$$

Donde:

ρ densidad [kg/m]
 T temperatura [°K] ($T = t \text{ en } ^\circ\text{C} + 273.15$)
 p presión [mbar]

- Calcule la potencia con: $P = \rho / 2 V^3$ [W/m²]

1.2 Influencia de la altura

- Ponga el anemómetro a 0.5 m, 2 m y 5 m de altura y mida la velocidad instantánea, haciendo las mediciones tan rápido como sea posible.
- Mida la presión y la temperatura.
- Calcule la potencia del viento para cada altura.

ALTURA [m]	VELOCIDAD [m/s]	POTENCIA [W/m ²]
0.5		
2		
5		

1.3 Influencia de los obstáculos

Mida la velocidad a 2 m de altura.

Ponga tres personas frente al anemómetro a 2 m de distancia y mida nuevamente.

Ponga tres personas frente al anemómetro a 10 m de distancia y mida nuevamente.

¿Cuál es su conclusión acerca de la influencia de obstáculos sobre la velocidad del viento?

EJERCICIO 2: SELECCIÓN DEL LUGAR DE INSTALACIÓN DEL AEROGENERADOR

Determine el lugar óptimo para colocar el aerogenerador cerca del local. Lo que se busca es emplear el aerogenerador para producir la electricidad necesaria para las luces del local. Encuentre los lugares óptimos para colocar el molino, el regulador y las baterías.

Tome en cuenta todas las exigencias. En particular, considere la velocidad del viento y los obstáculos en todas las direcciones.

Los requisitos para la selección del lugar son mencionados en el capítulo 'Diseño de un sistema', y también están incluidos en esta sección, junto con algunos requisitos adicionales:

- i. Situación del aerogenerador: se necesita suficiente espacio en la tierra o en el techo para colocar el aerogenerador. La regla principal es simple: se tienen que evitar los obstáculos. El viento debe acceder al aerogenerador por todas las direcciones.
- ii. El aerogenerador debe ser montado de tal manera que sea accesible para limpieza y mantenimiento. Esto también se aplica al regulador y a la batería.
- iii. El molino debe ser colocado cerca del regulador y de las baterías para evitar el uso de cables largos, puesto que son más caros y causan más pérdidas de energía. Asimismo, procure que los cables que van del regulador al punto de uso final sean lo más cortos posibles.
- iv. El aerogenerador debe estar protegido contra robos y cualquier otra posibilidad de daño (vandalismo, niños jugando).
- v. El regulador y las baterías deben ser colocados en el interior del edificio o en una caja que soporte todo tipo de clima (piense en que debe haber suficiente ventilación para la refrigeración de los componentes eléctricos y las baterías).
- vi. Mantenga la batería a una temperatura moderada (10-30 °C) para incrementar la vida útil de la batería. Evite los lugares con luz solar directa.

EJERCICIO 3: INSTALACIÓN Y MEDICIONES

3.1 Instalación del sistema

Instale un aerogenerador pequeño, según las instrucciones del proveedor.

1. Coloque el aerogenerador, fíjelo sobre el mástil (el cual debe ser fabricado).
2. Coloque la batería y el regulador en lugares apropiados (no haga las conexiones aún).
3. Conecte el aerogenerador y el regulador siguiendo las instrucciones del proveedor, en este orden:
 - conecte los alambres de la batería y ponga el medidor a escala 20 A en el cable 'negativo' de la batería al regulador
 - conecte el aerogenerador
 - conecte la carga
 - inmediatamente después de terminar las conexiones, mida el voltaje de la batería.

¡TENGA MUCHO CUIDADO CON LAS POLARIDADES!

CONECTE + CON +

CONECTE - CON -

3.2 Potencia instantánea

- Conecte el medidor universal entre los polos de la batería (escala 20 V).
- Coloque el anemómetro a unos metros frente al rotor (barlovento), a la altura del cubo.
- Mida la velocidad del viento. Al mismo tiempo, mida la corriente y el voltaje de la batería. Después, mida la temperatura y la presión.
- Compare la potencia del aerogenerador con la potencia del viento.

- a) Calcule la densidad del aire (véase arriba) y la potencia con:

$$P = \frac{\rho}{2} \times A \times V^3$$

A	área interceptada por el rotor [m ²]
P	potencia [W]
ρ	densidad del aire [kg/m ³]
V	velocidad [m/s]

- b) Calcule la potencia de salida del aerogenerador con:

$$P = U \times I$$

U voltaje [V]
I corriente [A]

- c) Calcule el rendimiento del aerogenerador

En caso de velocidad muy baja, el regulador no puede enviar energía a la batería (el voltaje está demasiado bajo). Por eso no hay corriente en el cable desde el regulador a la batería. Sin embargo, se puede medir el voltaje frente al regulador, para establecer si el aerogenerador funciona.

3.3 Ejercicios opcionales

- Ponga el anemómetro al lado del rotor y detrás del mismo. ¿Cuál es el efecto sobre la velocidad medida?
- Cree un obstáculo usando, por ejemplo, 10 personas a una distancia de 10 veces la altura del cubo. ¿Cuál es el efecto sobre la potencia de salida del aerogenerador?

EJERCICIO 4: INSPECCIÓN DEL SISTEMA EÓLICO

Inspeccione el sistema eólico con la lista de inspección.

Lista de inspección

(Esta lista no incluye pruebas detalladas del sistema eléctrico)

4.1 General - Primera Impresión

- 1) ¿El molino produce la electricidad necesaria?
- 2) ¿Hay viento suficientemente fuerte en el lugar? ¿Hay obstáculos? ¿Cuál es la condición de la exposición del molino en todas las direcciones?
- 3) ¿Cuál es la condición del molino? ¿Es silencioso o ruidoso? ¿Hay corrosión? ¿Todas las partes se mueven sin problemas?

4.2 Rotor

- 1) ¿Todas las aspas están bien fijadas al cubo (verificar los tornillos)?
- 2) ¿Las aspas están fijadas correctamente?
- 3) ¿Todas las aspas son iguales?
- 4) ¿Están limpias?
- 5) ¿No tienen fallas?
- 6) ¿El rotor puede girar fácilmente sin tocar la torre?
- 7) ¿No hay desequilibrio en el rotor? (El rotor debe permanecer en cualquiera posición)

4.3 Sistema para girar la cabeza

- 1) ¿La cabeza del molino se mueve fácilmente?
- 2) ¿El rotor permanece perpendicular al viento? ¿El rodamiento está en posición horizontal?
- 3) ¿El rodamiento está protegido contra polvo y agua?
- 4) (En caso de poseer una cola fija) ¿La cola está bien fijada a la cabeza?
- 5) (En caso de poseer una cola movible) ¿Las partes se mueven con facilidad?
- 6) ¿Todos los tornillos han sido fijados firmemente?

4.4 Sistema eléctrico

- 1) ¿Los cables son del grosor adecuado?
- 2) ¿Los cables están en buenas condiciones?
- 3) ¿Están fijados de tal manera que no puedan dañarse?
- 4) ¿Las partes eléctricas están protegidas contra el agua y la radiación solar?

- 5) ¿Se han hecho todas las conexiones correctamente? (los tornillos están fijados firmemente, las conexiones han sido hechas según el esquema)
- 6) Haga girar el rotor. Al medir el voltaje frente al regulador, el valor resultante deberá ser diferente de cero. Detrás del regulador, la diferencia de voltaje debe ser cero (cuando no hay batería).
- 7) ¿En qué condición se encuentra la protección contra rayos?

4.5 Torre

- 1) ¿La torre es suficientemente alta, en comparación con la altura de los obstáculos?
- 2) ¿La torre es recta y horizontal?
- 3) ¿Está fijada de tal manera que el molino no corre el riesgo de caer? (Verifique los tornillos y las conexiones)
- 4) En el caso de los cabos ¿Cuál es la tensión en los cables?

4.6 Seguridad

- 1) ¿Es imposible que personas no autorizadas y niños tengan acceso al molino?
- 2) ¿Se ha colocado un aviso de 'PELIGRO' (o algo similar)?
- 3) ¿Se ha instalado la batería en un lugar cerrado, bien ventilado, seco y protegido contra los rayos solares?
- 4) ¿El sistema eléctrico es seguro (niños, animales)?

EJERCICIO 5: SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

En este ejercicio se llevará a cabo una inspección y se detectarán las posibles fallas del aerogenerador. Antes de comenzar, observe cuidadosamente las ilustraciones 5.1 y 5.2 y luego, siga los pasos descritos a continuación.

Inspección 1: Salida de corriente

Para revisar la salida de corriente del aerogenerador, el sistema deberá estar instalado y deberá contar con suficiente corriente de aire. Conecte el amperímetro al circuito, tal como aparece en la figura 5.1 De haber suficiente viento, el amperímetro mostrará alguna lectura.

Inspección 2: Salida de voltaje

De no obtenerse ninguna lectura en el amperímetro, desconecte los conectadores de salida y verifique con un voltímetro para CC a través de los puntos 8 y 9. Si el voltímetro indica más de 12 V, probablemente la batería haya sufrido una falla o ha volado el fusible. Revise la batería y el fusible y reemplácelo, de ser necesario.

Inspección 3: Escobillas

De no haber voltaje entre los puntos 8 y 9, verifique las escobillas. Estas no deberán estar gastadas o dañadas. Reemplácelas de ser necesario.

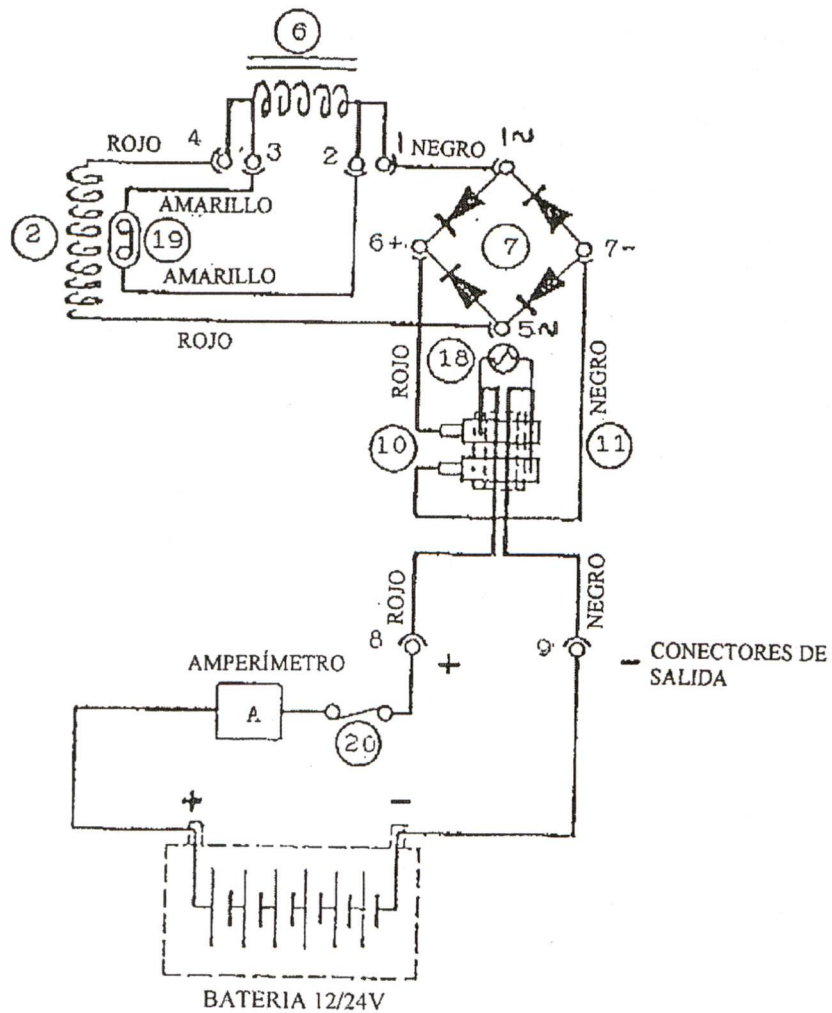
Inspección 4: Rectificador

En caso de que las escobillas estén en buen estado, y aún no haya voltaje, verifique el rectificador de la siguiente manera. Desconecte el rectificador del circuito y emplee un ohmímetro para verificar el funcionamiento del rectificador.

Prueba	Conecte + del ohm-metro al punto	Conecte - del ohm-metro al punto	Lectura en ohm
1	6	5	10 – 12
2	5	6	infinito
3	6	1	10 – 12
4	1	6	infinito
5	5	7	10 – 20
6	7	5	infinito
7	1	7	10 – 20
8	7	1	infinito
9	6	7	40 – 80
10	7	6	infinito

Si estas pruebas arrojan lecturas distintas a las especificadas en esta tabla, el rectificador está dañado y deberá ser reemplazado

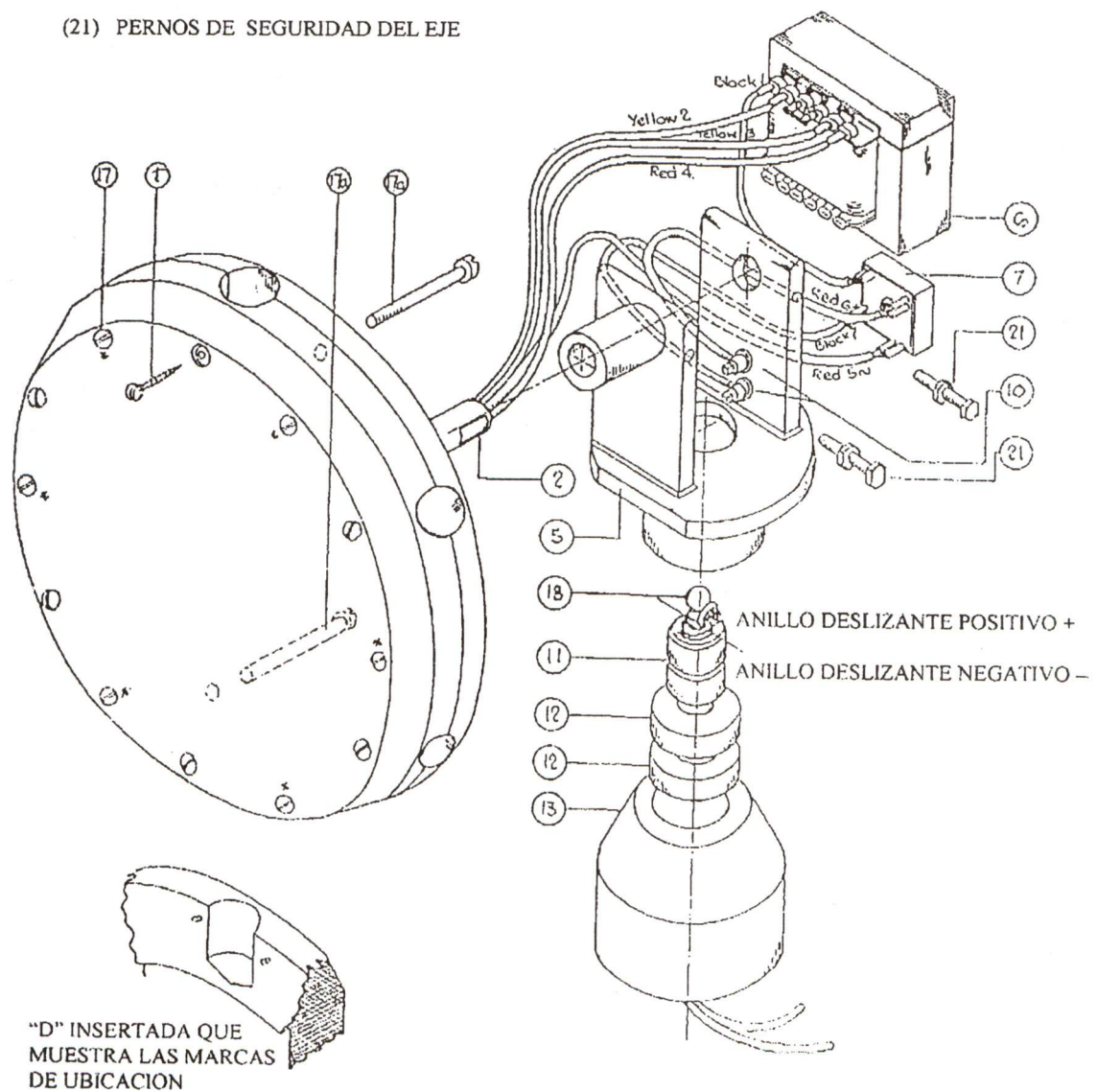
Figura 5.1



- (2) BOBINADO DE DISCO DEL ESTATOR DEL GENERADOR
- (6) REGULADOR DE CONTROL
- (7) RECTIFICADOR PUENTE DE ONDA COMPLETA
- (10) ESCOBILLAS Y SUJETADORES DE ESCOBILLAS
- (11) ANILLOS DESLIZANTES
- (18) SUPRESOR DE PICO
- (19) TERMOSTATO DE PROTECCION DEL BOBINADO, MONTADO DENTRO DEL BOBINADO DEL DISCO
- (20) FUSIBLE DE CARGA DE 15 AMP MAX.

Figura 5.2

- (1) PERNOS AUTOAJUSTABLES DE ACERO INOXIDABLE (FIJACIÓN DE ALABES, 2 PERNOS POR ALABE)
- (17) PERNOS M5 DE ACERO INOXIDABLE PARA FIJACION DE NUCLEO (MARCADOS CON *)
- (17a) EL ITEM 17 SE INSERTA DESDE LA PARTE POSTERIOR. PERNOS SUJETADORES (SOLO 2)
- (5) CAJA DE SOPORTE DEL EJE DE TURBINA
- (12) COJINETES DE BOLA
- (13) EXTREMO DE L POSTE DE SOPORTE
- (21) PERNOS DE SEGURIDAD DEL EJE



Inspección 5: Bobinado del estator principal

Si el rectificador no está dañado, entonces se deberá revisar el bobinado del estator principal. Primero retire los alambres 4 y 5 para desconectarlo. Luego, mida la resistencia del bobinado sobre los puntos 4 y 5. La resistencia de un aerogenerador de 12 V deberá ser 6 ohm y, para un aerogenerador de 24 V, deberá ser de 20 ohm.

Conecte un voltímetro para CA sobre los puntos 4 y 5 y haga girar con fuerza el generador. La lectura del voltaje deberá ser de 10 – 20 V. Si no hay resistencia, o hay una resistencia infinita y no hay voltaje, significará que el bobinado principal está dañado y debe ser reemplazado.

Inspección 6: Termostato

Para verificar el termostato, retire los alambres 2 y 3 del regulador (cuando el bobinado se haya enfriado). Mida la resistencia del termostato con un ohm-metro. La lectura deberá ser de 0 ohm. Si el resultado de la lectura es infinito, significa que el bobinado estaba caliente o que el termostato está malogrado. En ese caso, se deberá reemplazar todo el bobinado, ya que el termostato es una parte integral del bobinado principal.

NOTA: Un bobinado dañado no evitará que la unidad se cargue, únicamente restringirá la salida a un máximo de 2 A.

Inspección 7: Regulador

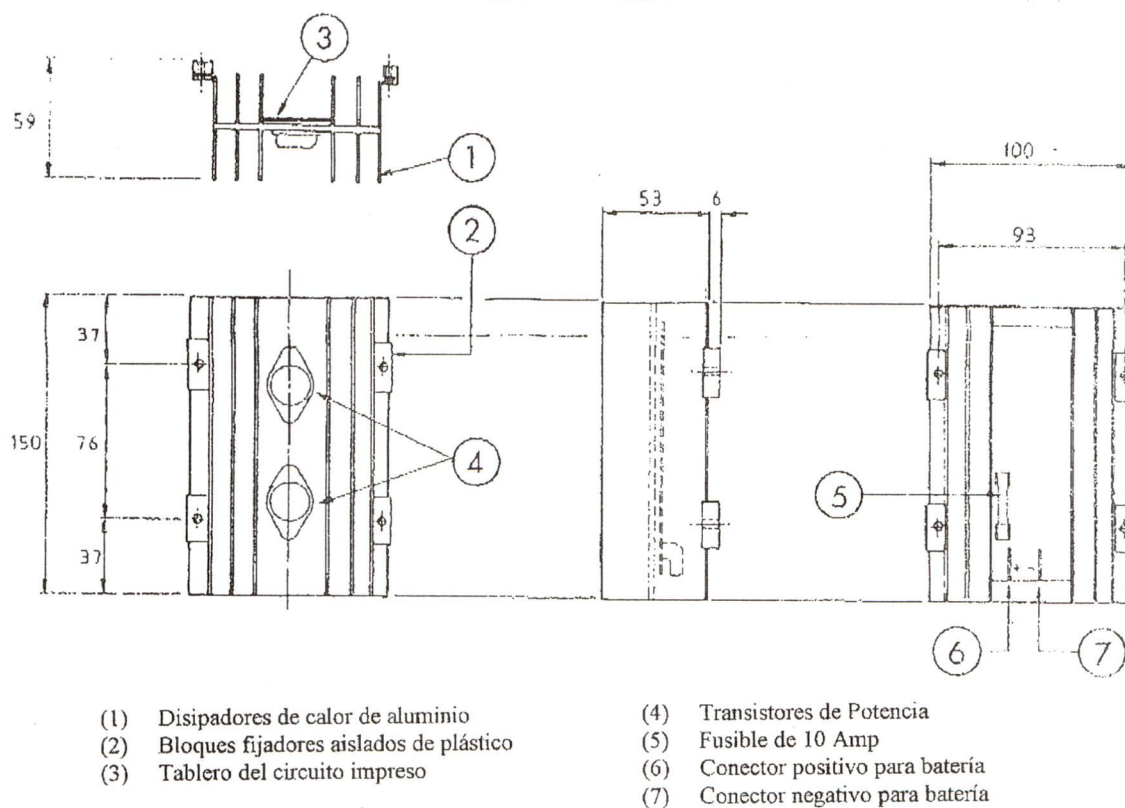
Para revisar el regulador, retire los alambres 1, 2, 3 y 4. Verifique la resistencia del regulador con un ohm-metro. La lectura deberá ser cero. Si el regulador está malogrado, usted deberá adquirir otro generador. En ese caso, le aconsejamos verificar si su generador aún se encuentra dentro del periodo de garantía.

EJERCICIO 6: CONSTRUCCIÓN E INSPECCIÓN DE UNA UNIDAD DE CONTROL OPCIONAL

Los aerogeneradores son difíciles de producir en el mercado local. Su tecnología es de alto nivel, y aunque no lo parezca, el desarrollo del sistema ha demandado años de trabajo. Sin embargo, hay determinadas partes del aerogenerador que pueden ser producidas localmente, una de esas partes es la unidad de control.

Primero, observe cuidadosamente el circuito eléctrico de la unidad de control (vea la figura 6.1)

Figura 6.1: Regulador Shunt



El regulador Shunt es un aparato de estado sólido, sensible al voltaje de los terminales de la batería. Cuando el voltaje de los terminales de la batería alcanza un máximo de 13.5 V (para una batería de 12 V), el regulador permite que la corriente se desvíe paulatinamente de la batería y se disipe en forma de calor, previniendo así una sobrecarga y la pérdida de electrolito por gasificación.

Al estar en funcionamiento, este calor es disipado por los disipadores y se sentirá caliente al tacto. Si el regulador está dentro de una caja, entonces deberá tener cuidado con la liberación de calor.

El regulador es capaz de disipar hasta 200 W y, por lo tanto, cualquier caja deberá estar bien ventilada en la parte superior e inferior, con una luz de 10 pulgadas cuadradas sobre y bajo el regulador. El regulador deberá ser montado en posición vertical. NO LO MONTE EN FORMA HORIZONTAL.

No monte el regulador en el mismo compartimento que la batería, ya que los gases corrosivos de la batería lo destruirían.

El cableado deberá ser lo más corto posible, y del tamaño adecuado para conducir 15 A en forma continua sin sobrecalentarse, manteniendo el voltaje en el cableado al mínimo.

CUIDADO: Al conectar el circuito con la batería, el disipador de calor estará en un potencial positivo, por lo que deberá evitar que haga contacto con el cable negativo de la batería, ya que esto causaría un cortocircuito en la batería y podría ocasionar también fuego y quemaduras. Por lo tanto, cuando conecte el regulador a la batería, siempre conecte el borne negativo primero y luego el borne positivo.

Luego, determine su funcionamiento y saque su propio circuito impreso y circuito eléctrico.

Una vez construido el circuito, verifique si su unidad de control funciona adecuadamente. Conecte y desconecte la batería de manera correcta.

EJERCICIO 7: PRECIO DE LA ELECTRICIDAD

En este ejercicio deseamos electrificar sólo una parte de un pueblo. El consumo total de electricidad es de 1.6 kW (promedio diario) = 38.4 kWh por día = 14,016 kWh por año.

Consideramos tres sistemas:

1. Sistema solar
2. Sistema eólico
3. Sistema diesel

Para el caso de un sistema solar, puede ser mejor emplear muchos sistemas individuales en lugar de un sistema central; de esta manera no se necesita una red. El aerogenerador y el generador diesel no tienen esta ventaja. Sin embargo, en este ejercicio suponemos que los costos de la red son bajos.

Sistema solar

La radiación es 5 kWh/m²-día (5 horas de radiación de 1,000 W/m²). Entonces, se necesita $38.4/5 = 7.7$ kWp = 7,700 Wp en paneles solares (90 m²). El precio de los paneles es de US\$ 10 por Wp. La vida útil de los paneles es 20 años.

Se necesitan baterías con capacidad de 5 días de consumo de electricidad, que representan $5 \times 38.4 = 192$ kWh. Si se utiliza sólo el 70% de la capacidad nominal, se necesita $5 \times 38.4/0.70 = 274$ kWh de baterías. El precio de las baterías es US\$ 100/kWh, y la vida útil de las baterías es de 5 años.

Sistema eólico

Con una velocidad promedio de 5 m/s, el aerogenerador Bergey Excel produce 14,000 kWh/año, lo que equivale a la energía necesaria. El molino vale US\$ 20,000 y su vida útil es de 20 años. El sistema eólico necesita las mismas baterías que el sistema solar: 274 kWh.

Sistema diesel

En la práctica, el generador diesel más pequeño es de 5 kW. Este generador produce aproximadamente 39 kWh en 8 horas. Su vida útil es de 10 años. Dado que el consumo es constante, sólo se necesitan baterías para un día, o $39/0.7 = 56$ kWh.

La inversión es US\$ 800 por kW de potencia de salida, entonces el generador diesel vale $5 \times 800 = \text{US\$ } 4,000$.

El generador consume petróleo diesel: 0.3 l por kWh de electricidad. El petróleo cuesta US\$ 0.33 por litro, entonces el precio de la electricidad del generador diesel es US\$ 0.10 por kWh.

1. ¿Cuántos sistemas (paneles solares, aerogeneradores, generadores diesel) se necesitarán en 20 años?
2. ¿Cuántas baterías se necesitarán en cada sistema en 20 años?
3. Calcule la inversión total para cada sistema (véase el cuadro abajo)
4. Calcule la energía que se necesita en 20 años y el precio de la electricidad.

SISTEMA		SOLAR	EÓLICO	DIESEL
Inversión (una vez) (US\$)				
Número necesario en 20 años		1	1	2
Inversión en 20 años (US\$)				
Baterías (una vez) (US\$)				
Baterías en 20 años				
Inversión en 20 años (US\$)		0	0	
Costos de combustible en 20 años (US\$)				
Electricidad en 20 años	(kWh)			
Precio de la electricidad	(US\$/kWh)			

Ahora hagamos el cálculo con el método del descuento. Supongamos que el interés es 20% y la inflación es 10%. Entonces, el factor de descuento simple es $D = 1.10/1.20 = 0.9167$. Los costos se tienen que establecer por año, multiplicando por el factor de descuento simple D. Las inversiones iniciales se hacen en año cero.

Para establecer los costos del petróleo, podemos usar el factor de descuento acumulativo, porque los costos son constantes cada año.

5. Haga los cálculos. Se pueden usar los cuadros a continuación.

SISTEMA: SOLAR	Costos (no descontados)	AÑO	D	Costos (descontados)
Inversión inicial • Paneles • Baterías		0	1	
Baterías		5		
Baterías		10		
Baterías		15		
COSTOS TOTALES				

SISTEMA: EÓLICO	Costos (no descontados)	AÑO	D	Costos (descontados)
Inversión inicial • Molino • Baterías		0	1	
Baterías		5		
Baterías		10		
Baterías		15		
COSTOS TOTALES				

SISTEMA: DIESEL	Costos (no descontados)	AÑO	D	Costos (descontados)
Inversión inicial • Generador • Baterías		0	1	
Baterías		5		
Baterías Segundo generador		10		
Baterías		15		
Gasolina	(¹)	1 – 20	(²)	
COSTOS TOTALES				

(¹) Costos anuales

(²) Factor de descuento acumulativo para 20 años

- La producción anual de electricidad es de 14,016 kWh, luego, la producción (sin descontar) en 20 años es de 280,320 kWh. Ahora, calcule la producción con el factor acumulativo de descuento D.
- Compare los precios de la electricidad con descuento y sin descuento.

SISTEMA	SOLAR	EÓLICO	DIESEL
Con descuento			
Sin descuento	1	1	2

- ¿Cuál es su conclusión sobre el efecto del uso del método del descuento?

EJERCICIO 8: CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE UN MOLINO (INTRODUCCIÓN)

Supongamos que queremos producir la energía que necesitamos para este curso con un aerogenerador. Decimos que el aerogenerador tiene un rendimiento medio de $e = 0.25$. La velocidad media del viento es 5 m/s.

1. ¿Cuál es el consumo de energía eléctrica? (Solamente se consideran las luces)
2. ¿Cuál es el diámetro del rotor que necesitamos

EJERCICIO 9: EVALUACIÓN DE LOS DATOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO (RECURSOS EÓLICOS)

Considere estos datos:

Velocidad (m/s)	Tiempo (horas)
0-1	0
1-2	0
2-3	0
3-4	0
4-5	156
5-6	193
6-7	215
7-8	342
.....	
.....	

¿Nota algo extraño? ¿Cuál podría ser la causa de eso?

EJERCICIO 10: BATERÍA (COMPONENTES)

Se dice que la capacidad de una batería es 100 Ah. Si tenemos un sistema de 12 V, ¿cuántas horas puede estar encendida una lámpara de 20 W? Se puede emplear 80% de la capacidad de la batería.

EJERCICIO 11: DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE POTENCIA (DISEÑO DEL SISTEMA)

Haga una lista de recomendaciones para la determinación de la curva de potencia de un aerogenerador.

EJERCICIO 12: ENERGÍA ELÉCTRICA (DISEÑO DEL SISTEMA)

Un fabricante de aerogeneradores le da los siguientes datos, pertenecientes a un aerogenerador con rotor de 4 m diámetro.

Con una velocidad promedio de 5 m/s, la producción de electricidad es de 94 kWh diarios.

1. Estime la potencia eléctrica media aplicando la regla de tres.
2. Calcule la energía diaria
3. ¿Qué opina de los datos del fabricante?

EJERCICIO 13: AEROGENERADORES PARA LIMA

¿Cuántos aerogeneradores de 500 kW (40 m diámetro) se necesitan para abastecer el consumo de electricidad de Lima? ¿Cuánto valen estos aerogeneradores?

Supongamos que hay 8 millones de habitantes en Lima, y que el consumo promedio es de 100 W por persona (eso incluye el funcionamiento de fábricas, edificios públicos, etc.). El precio de un aerogenerador es US\$ 1,250 por kW (inversión inicial).

EJERCICIO 14: OFICINA DEL SENATI

En la oficina del SENATI hay 10 lámparas de 24 W que se usan desde las 8 hasta las 18 horas. Hay 3 computadoras de 110 W, que se usan también desde las 8 hasta las 18 horas. Como hay dos holandeses, la máquina de café se utiliza entre las 8 y las 18 horas durante 10 minutos. El consumo de esta máquina es 1,000 W.

1. Calcule la demanda total de energía diaria. También calcule el consumo por mes (kWh en 30 días) y la potencia (W).

APARATO	POTENCIA (W)	TIEMPO (h)	ENERGIA (Wh)
Lámparas			
Computadoras			
Máquina de café			
TOTAL (Wh)			

2. En el mes crítico, la velocidad promedio del viento es 4.0 m/s a la altura de cubo propuesto. Estime el diámetro del rotor aplicando la regla de tres ($P = 0.25 A V^3$).
3. Tiene en su poder la curva de potencia de un aerogenerador que le han ofrecido. Lamentablemente, alguien ha derramado café sobre el papel. Se tiene que calcular algunos datos nuevamente. Calcule la probabilidad, el número de horas y la energía por año ($k = 2$, $V_{prom} = 4$ m/s. En primer lugar, calcule el parámetro de la escala A).

U_{avg} (m/s)	U_1 (m/s)	U_2 (m/s)	$P(U)$ (W)	Prob (-)	Tiempo (hr)	Energía (kWh)
-	0	0.5	-	0.012	107	-
1	0.5	1.5	0	0.092	809	0
2	1.5	2.5	0	0.160	1398	0
3	2.5	3.5	0	0.188	1644	0
4	3.5	4.5	0	0.178	1559	0
5	4.5	5.5	100	0.144	1258	126
6	5.5	6.5	500	0.101	883	442
7	6.5	7.5	900	0.062	547	492
8	7.5	8.5	1500	0.034	301	452
9	8.5	9.5	2200	0.017	148	326
10	9.5	10.5	3000	0.007	65	196
11	10.5	11.5	3400	0.003	26	88
12	11.5	12.5	3500	0.001	9	32
13	12.5	13.5	3400	0.000	3	10
14	13.5	14.5	3100	0.000	1	3
15	14.5	15.5	2900	0.000	0	1
16	15.5	16.5	2800	0.000	0	0
TOTAL						

4. Diseñe la batería para 5 días de autonomía. Se puede usar 70% de la capacidad nominal de la batería. ¿Cuál es la capacidad en Ah cuando el sistema usa 12 V?

En un determinado día no hay viento de 4 m/s desde 0 a 12 horas. Desde 12 a 17 hay una velocidad de 7 m/s y luego de 3 m/s. El estado de carga de la batería es 20 kWh a 0 h (50% de 40 kWh). Cuando se carga la batería, solamente un 90% de la energía del aerogenerador entre en la batería; cuando se descarga la batería, solamente un 90% de la energía se puede usar en la batería.

5. Calcule el estado de carga (véase la tabla):
- Determine el estado de carga inicial
 - Determine el suministro de energía (véase la curva de potencia)
 - Determine la demanda de energía
 - Determine la diferencia de suministro y demanda, y adapte el estado de carga de la batería. Piense en el rendimiento de carga y descarga.

T (h)	Suministro (Wh)	Demanda (Wh)	Diferencia (Wh)	Estado de carga (Wh)
0	-	-	-	20,000
0 – 8	0	0	0	20,000
8 – 9				
9 – 12				
12 – 16				
16 – 18				
18 – 24				

6. El diámetro del rotor es 4 m y la densidad del aire 1.2 kg/m^3 . Controle el coeficiente de potencia a 7 m/s.

Impreso en los talleres de
GOVI - 4 E.I.R.L
R.U.C. 11080871
Av. Petit Thouars 1887 - Lince
Telefax: 265-6273
Lima - Perú