

9 GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

- 9.1 Aviso referente Seguridad
- 9.2 Normas Eléctricas
- 9.3 Protección contra Fallas de Tierra
- 9.4 Opciones para el Generador
- 9.5 Utilización de Motores Trifásicos de Inducción como Generadores Monofásicos
- 9.6 Controladores Electrónicos de Carga
- 9.7 Alternativas al Control de Carga
- 9.8 Selección y Tamaño del Generador, Capacitores, Cables, y Equipos de Protección
- 9.9 Instalación y Conexiones del Alambreado

9.1 Aviso referente Seguridad

La electricidad puede ser sumamente peligrosa. Si una persona toca un alambre vivo o equipos defectuosos que tengan voltaje mayor de 50V, es posible que reciban un choque eléctrico fatal. El sistema de generación eléctrica aquí descrito es diseñado para operar a voltajes de 120V o 220V CA (dependiendo de las normas nacionales). Cualquier persona que realice instalaciones eléctricas a estos voltajes deberá ser supervisado por un electricista calificado y con experiencia. Además deberán de respetarse estrictamente las siguientes instrucciones:

- Antes de proceder a cualquier instalación o mantenimiento, asegurar que el generador esté parado y que la válvula de admisión de agua a la turbina esté firmemente cerrada. Colgar un rótulo de la válvula para avisar a otras personas que alguien esté trabajando dentro de la casa turbina. (p.e. "En Mantenimiento - ¡ No Operar !").
- Conectar todas las máquinas que tengan carcasas o tapaderas metálicas a Tierra con una conexión de tierra apropiada (ver 9.3)
- Nunca tocar los equipos eléctricos cuando tenga las manos mojadas.
- Instalar todos los equipos conforme las instrucciones del fabricante.
- No regule ni intente de reparar los equipos a menos que haya recibido la capacitación correspondiente.
- Se deberán colocar rótulos avisando de altos voltajes, por la puerta de la casa turbina, en la caja del controlador y sobre la caja de cada limitador de carga.

9.2 Normas Eléctricas

Se deberán respetar las normas eléctricas nacionales. En algunos países, normas especiales para sistemas micro hidro y/o electrificación rural han sido acordadas. Se deberá acatarse a dichas normas, aún cuando contradicen las recomendaciones dadas en este manual. Favor leer el Aviso y Renuncia que aparece al inicio de este manual.

9.3 Protección contra Fallas de Tierra

Una falla de tierra ocurre, por ejemplo, cuando un alambre vivo se afloja dentro de un dispositivo y llega a tocar la caja o carcasa. Un DCR (Dispositivo de Corriente Residual) desconectará la fuente de electricidad cuando una falla de este tipo hace que corra una corriente eléctrica grande (p.e. en caso que la caja o carcasa esté aterrizada o alguien toque la caja haciendo circuito a tierra). El DCR también puede interrumpir la corriente de la fuente si alguien accidentalmente toca un alambre vivo causando un flujo de corriente a través de su cuerpo hacia la tierra. Eso reduce el riesgo de choques eléctricos fatales aunque éstos todavía pueden ocurrir si alguien toca una línea viva y neutro a la vez que estén aislados de la tierra. El DCR requerido es del tipo que tiene una corriente de actuación de 30mA. Deberá ser conectado directamente al generador a como se ve en la Figura 9-7.



Figura 9-1 DCR trifásico

Además del DCR, se requieren de polos a tierra para permitir que funcione el DCR. Estos son conductores metálicos que están en contacto con la tierra y proporcionan una vía de baja resistencia para la corriente a tierra. Se requiere de un polo a tierra cerca del generador. También se requieren de polos a tierra donde hay cargas eléctricas que tengan carcasas de metal (por ejemplo cocinas eléctricas). La resistencia de la conexión a tierra no debe ser mayor de $1k\Omega$ cuando el DCR tenga una corriente de disparo de 30mA. Se deberá probar la resistencia a tierra con un probador de tierra. Síguese con cuidado las instrucciones del fabricante para asegurar lecturas de precisión. Los probadores de tierra son caras (cuestan típicamente \$600 a \$1000). Considerar la posibilidad de alquilar o prestar este instrumento a menos que vaya a instalar una gran cantidad de sistemas hidroeléctricos. A continuación se describen tres métodos de instalación de polos a tierra:



Método 1 Usualmente el polo a tierra más fácil de instalar es una varilla de acero con recubrimiento de cobre de 1 metro de longitud, que se clava en la tierra cerca de la casa turbina. Se conecta el polo a tierra al terminal del neutro cerquita al generador mediante un cable de cobre de baja resistencia (calibre grueso, p.e. SWG $10mm^2$) y una mordaza especial que desliza sobre la varilla y permite prensar el cable con buen contacto a la varilla. En caso que sea imposible clavar la varilla en la tierra hasta una profundidad de 1 metro, se pueden utilizar dos varillas más cortas e interconectarlas. Las dos varilla deberán instalarse con una separación de por lo menos dos metros, y estar interconectados con el mismo cable de tierra.

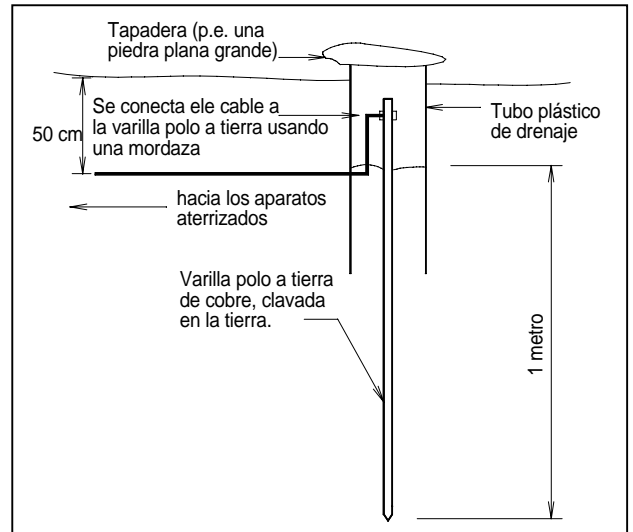


Figura 9-2 Una varilla de acero con recubrimiento de cobre sirve como polo a tierra.

Método 2 Un segundo método es de utilizar un colcho suelto formado de aproximadamente 10 metros de alambre de cobre desnudo SWG #10. El colcho deberá de aterrarse en un hoyo de aproximadamente un metro de profundidad. Si la tierra donde se construye la casa turbina es húmeda, se puede enterrar el colcho de alambre debajo de las fundaciones de la casa turbina. No utilice este método si la tierra es de tipo muy seco, visto que la resistencia en estas condiciones probablemente no será suficientemente baja.

Método 3 Un tercer método es de utilizar una placa de cobre con dimensiones de por lo menos $500mm \times 500mm$. Esta placa deberá ser aterrada en un hoyo de por lo menos un metro de profundidad, en tierra que se mantiene siempre húmeda



Figura 9-3 Instalación de un electrodo de tierra hecha de placa de cobre, Se han soldado varios cables a la placa para reducir la resistencia y aumentar la confiabilidad. (Nepal)

9.4 Opciones para el Generador

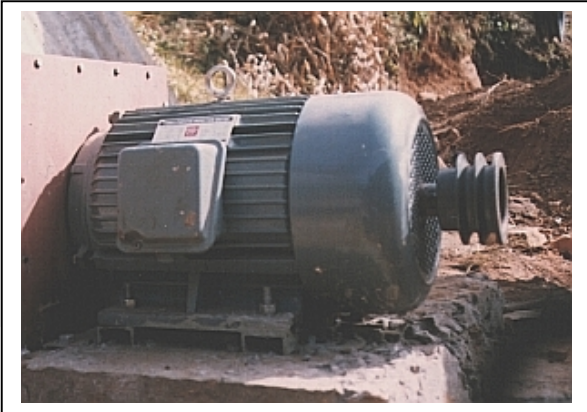


Figura 9-4 Motor de Inducción Trifásico (7.5 kW) con extensión del eje en ambos extremos, utilizado como generador. (Nepa)

Los generadores de inducción y los generadores sincrónicos producen electricidad CA. Ver los Anexos para explicaciones sobre corriente alterna (CA) y corriente directa (CD). La ventaja principal de la CA es que la potencia puede ser transmitida a través de grandes distancias. Por eso la CA es apropiada para proyectos de electrificación de aldeas, porque las cargas eléctricas (por ejemplo bujías para iluminación) usualmente están en ubicaciones dispersas, y a distancias considerables del lugar del generador.

Los generadores de inducción son buenos para la provisión de electricidad en áreas remotas porque son robustos y muy confiables. Sin embargo, no son la única opción para proyectos hidroeléctricos. En la Tabla 9-1. se ven comparados varios tipos de generadores. Las situaciones en donde puede ser recomendable considerar otros tipos de generadores además del generador de inducción, incluyen las siguientes:

1. Sistemas de muy bajo costo, para cargar baterías o alumbrar a una sola casa ubicada cerca de la turbina. Considerar un generador CD.
2. Sistemas requiriendo el arranque de motores de tamaños mayores del 15% de la capacidad del generador, funcionarán mejor con un generador sincrónico. Para más información acerca del arranque de motores cuando se utilice un generador de inducción, léase la Section 13.

9.5 Utilización de Motores Trifásicos de Inducción como Generadores Monofásicos.

Generadores de inducción adquiridos por pedido especial son caros, pero los motores trifásicos de inducción pueden funcionar como generadores cuando son operados "al revés". Estos son fabricados en masa, por lo cual son bastante baratos y disponibles en todas partes.

Para la mayoría de pequeños proyectos de electrificación, se requiere generar electricidad monofásica. Es bastante fácil generar electricidad monofásica con un motor trifásico. Eso se logra con la conexión de cantidades desiguales de capacitancia de excitación a través de los embobinados de la máquina, a como se ve en la Figura 9-6. Se le llama "conexión C-2C" porque a través de la segunda fase del generador se conecta capacitancia del doble que lleva la primera fase. A través de la tercera fase no se conectan capacitores.

Es importante que se seleccione el tipo correcto de capacitores y que se hagan las conexiones correctas, de otra manera el generador no generará o puede sobrecalentarse. El mismo fabricante que suplir la turbina y el generador deberá de suplir también los capacitores del tamaño correcto. En caso que hay que comprar los componentes por separados, sígase las indicaciones dadas en la Section 9.8.



Figura 9-5 Capacitores de Potencia apropiados para conexión a generadores de inducción

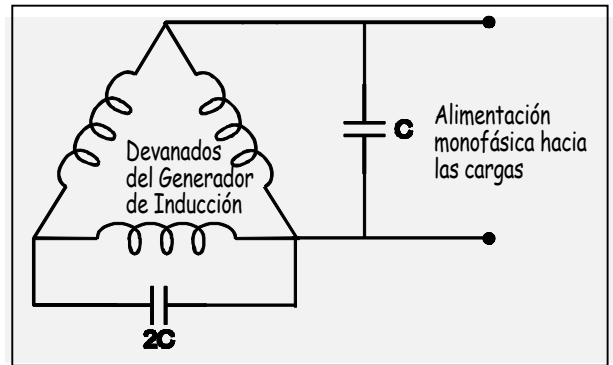


Figura 9-6 Suministro monofásico partiendo de un motor trifásico de inducción

Tipo de Generador	Fuente	Precio Típico para una máquina de 3kW	Opciones de Velocidades (rpm)	Desventajas	Ventajas
Inducción	Motor industrial estandar utilizado como generador	Bajo: \$200 - \$250	1000, 1500, 3000	Requiere de capacitores correctamente seleccionados para operar como generador. No es bueno para arrancar motores.	Disponible en muchos lugares, rangos de velocidades bajas, de construcción sencillo y robusto. Aguanta sobre-velocidades. Más barato que el generador sincrónico.
Sincrónico - de escobillas	Utilizado comunamente con motores de gasolina o diesel	Bajo - mediano: \$300 - \$500	3000, o a veces 1500	Las escobillas y los anillos se gastan y tienen que ser repuestos. Requiere de reforzamiento para poder aguantar sobre-velocidades	Mayor eficiencia que el generador de inducción a cargas parciales. Mejor capacidad de arrancar motores.
Sincrónico - sin escobillas	Utilizado ocasionalmente con motores de diesel	Alto: \$600 - \$1000	1500, 3000	Poca disponibilidad. Reparaciones a menudo son complejas y costosas. Requiere de reforzamiento para poder aguantar sobre-velocidades	Mismas ventajas que el generador sincrónico con escobillas, pero con mejor confiabilidad.
DC	Car or truck alternator	No Applicable. capacidades máximas de ~ 500W	Coche > 2000, camión > 1200	No apropiado para electrificación de aldeas. Las escobillas y los anillos se gastan.	Costo muy bajo, no requiere de controlador.

Tabla 9-1 Comparison of Generators suitable for use with Pico Hydro Turbines

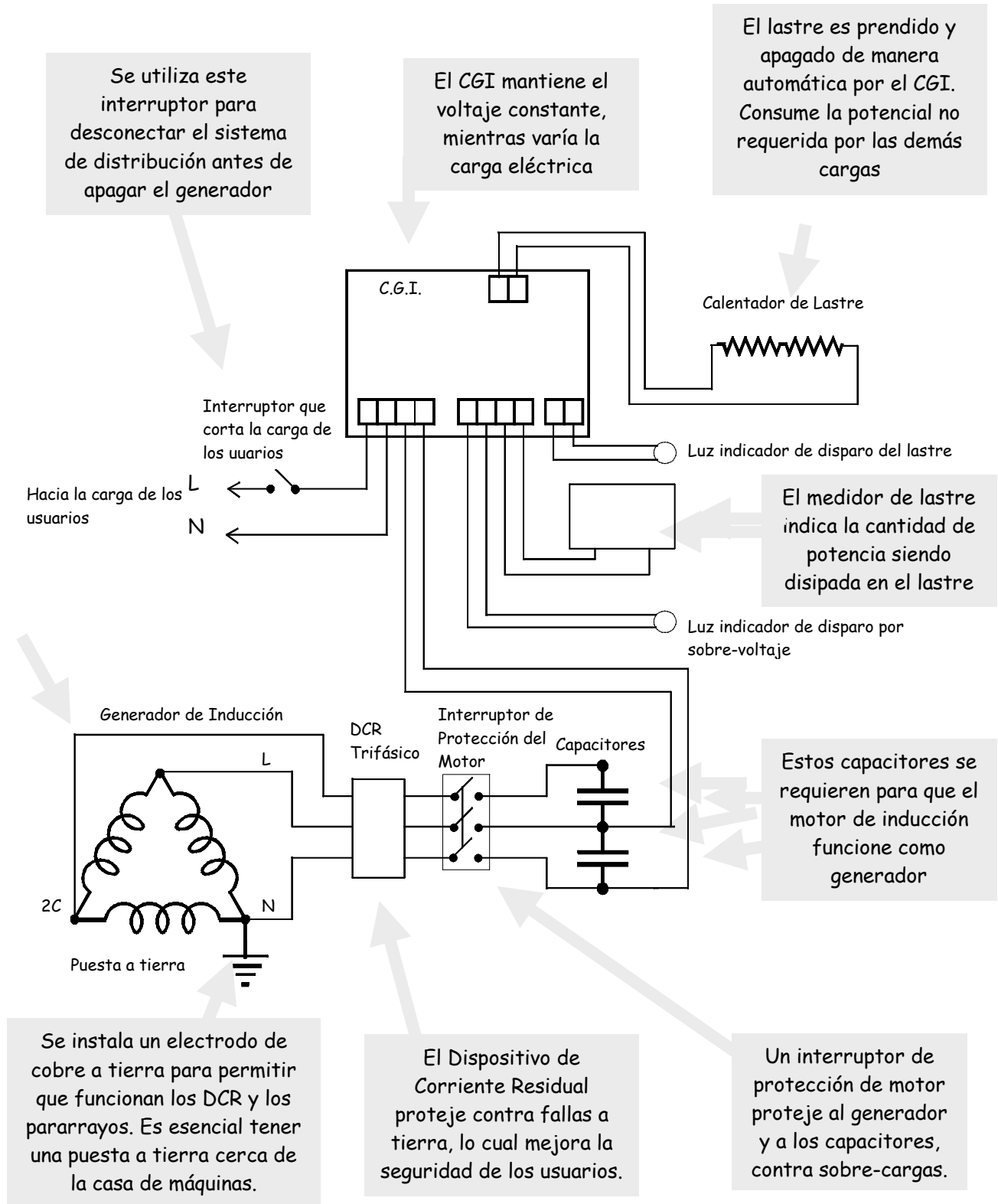


Figura 9-7 Conexiones del Generador y el Controlador

9.6 Control Electrónico de Carga

Si no se mantienen el voltaje y la frecuencia en sus niveles correctos, las cargas de los usuarios conectadas al generador pueden dañarse.

	Demasiado Alto	Demasiado Bajo
Voltage	Pueden dañarse motores, televisores y radios. Se recortan las vidas útiles de lámparas y calefacciones.	La mayoría de los artefactos se comportarán mal o dejarán de operar
Frecuencia	Usualmente no causa problemas con las cargas de los usuarios. Con la excepción de cargas de motores que dependen de la velocidad de giro del motor.	Puede causar recalentamiento de circuitos internos y fallas en radios, TVs y motores.

Tabla 9-2 Efectos de variaciones de voltaje y frecuencia en las cargas eléctricas

La velocidad de la turbina cambia cuando cambie la carga conectada al generador. Por ejemplo, si los usuarios prenden más luces la velocidad de la turbina disminuirá. Visto que este cambio de velocidad afectaría el voltaje y la frecuencia, es preciso o mantener la carga del generador constante, o ajustar el caudal de agua que pasa por la tobera a la turbina. El método más confiable de controlar la carga y mantener el voltaje y la frecuencia constantes, es el uso de un controlador electrónico de carga.

Se puede mantener la velocidad de un generador de inducción casi constante mediante un CGI (Controlador de Generador de Inducción). Este dispositivo manda la potencia no utilizada por los clientes a un lastre (carga de descarte) de manera que la carga total sobre el generador quede constante. Por ejemplo, si el generador genera 1000W y la carga conectada por los clientes es de solamente 600W, entonces el CGI controlará los circuitos al lastre tal que los restantes 400W sean disipados en el lastre. En cualquier momento que la carga de los clientes cambia, el CGI ajustará automáticamente la cantidad de potencia que se desvía al lastre, para que el voltaje y la frecuencia se mantengan constantes.

El CGI, sin embargo, no puede prevenir que al generador se le ponga demasiada carga. Por ejemplo, si el generador está generando 1000W y los clientes conectan más de 1000W de cargas, entonces se caerá el voltaje y el CGI no podrá prevenir ésto. Para evitar sobrecargar el generador, se recomienda el uso de limitadores de carga. Eso se explica en mayor detalle en la Sección 15.3

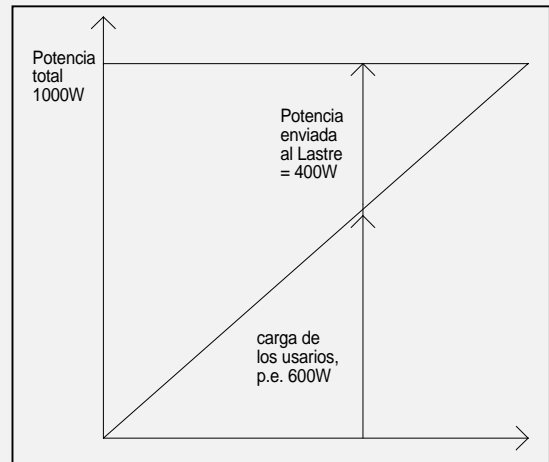


Figura 9-8 División de potencia entre la carga de los usuarios, y el lastre

El Lastre

El lastre es un componente esencial del sistema de control electrónico. Se debe poner mucho cuidado en la correcta selección y conexión del lastre. La causa más común de problemas con los controladores de generadores de inducción es con el lastre.

Calentadores de Aire

Calentadores por convección son los mejores para lastre en sistemas pico hidro. Usualmente son confiables y tienen larga vida. Se venden como calefacciones eléctricas para habitaciones. Los que pueden montarse a la pared son los más seguros. Un diseño de bajo costo 'DIY' que utiliza aros de cocina eléctrica se demuestra en la Figura 9.9. Eso funciona como calefacción radiante cuando se monte en un marco apropiado en la pared. El aislamiento de los cables, y el marco de montaje deberán ser capaces de aguantar temperaturas muy altas. Los calentadores radiantes por lo general tienen vidas más cortas que los calentadores por convección, visto que operan a temperaturas más altas.

Calentadores de Agua

A menudo se utilizan como cargas de lastre, aunque la experiencia ha demostrado que éstos frecuentemente causan problemas en sistemas pequeños por lo cual no son recomendados. Elementos de calefacción de agua y tanques de lastre muchas veces se corroen rapidamente. Se requiere monitorear la temperatura del agua e introducir más agua antes que comience a hervir. Se pueden diseñar dispositivos para lograr la introducción automático del agua adicional requerida, pero éstos son complicados y anti-económicos para sistemas pico hidro.

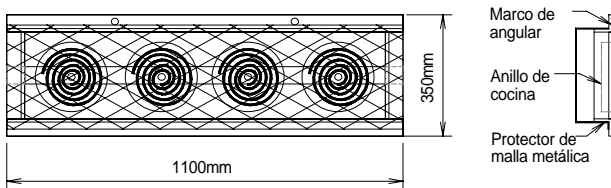


Figura 9-9 Lastre de bajo costo utilizando aros de cocina eléctrica

Diseño de un Lastre de Bajo Costo

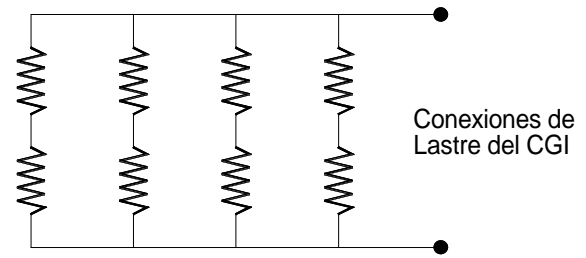
Un lastre de este diseño debería de montarse en la pared. Los cables deberán ser protegidos con forro resistente al calor, y las conexiones hechas desde abajo.

Cálculo de la potencia disipada

Los aros de cocina eléctrica están disponibles en varias capacidades de potencia y son baratos y robustos. Al conectar dos aros en serie, se reduce el voltaje a la mitad y eso prolonga mucho la vida útil. Visto que con una conexión en serie se reduce el voltaje a la mitad, el amperaje a la vez se reducirá a la mitad, por lo cual se logra solo la cuarta parte de la disipación de potencia nominal. Por ejemplo, un lastre para disipar 3.0kW requeriría de 8 aros de 1.5KW nominales cada uno. Es decir, requerirá de cuatro pares de aros conectados en serie, todos los pares conectados en paralelo a través del controlador, o sean dos unidades de las mostradas en la Figura 9.9.

$$V/2 \times I/2 = P/4 = 375W \text{ disipados por aro cuando se conecten pares en serie. } 8 \times 375W = 3.0kW.$$

La conexión de los aros de cocina para este ejemplo se demuestra en el diagrama de circuito abajo.



Lastre de 3kW incorporando 8 anillos de cocina de 1.5kW nominal cada uno

Figura 9-10 Conexión eléctrica de aros de cocina para lastre (4 pares de aros conectados en serie))

Protecciones del CGI

Disparo por Sobre-voltaje En caso que el voltaje suba demasiado, se cortará automáticamente el suministro de electricidad a las cargas de los usuarios para proteger sus artefactos. La luz del disparo de sobre-voltaje se alumbrará para indicar que haya ocurrido esta falla.

Disparo del Lastre: Se desconectará automáticamente el lastre en caso que el lastre sea demasiado grande o en caso que hay cortocircuitos en las conexiones del lastre. Se alumbrará la luz del disparo del lastre.

Protección contra rayos: Muchos diseños de CGI incluyen un varistor que minimiza el riesgo de daños al controlador en caso de golpes indirectos por relámpagos.

Medidores/Indicadores

El CGI funcionará sin los medidores indicativos. Sin embargo, éstos permiten al usuario maximizar la utilización de la potencia disponible del generador y son además útiles en la identificación de las causas de fallas o problemas eléctricos en el sistema de control.

Medidor del Lastre: Este medidor indica el porcentaje de potencia siendo disipado en el lastre. Es el instrumento más útil porque indica cuanto hay de capacidad de reserva en el sistema, y qué tan cerca está por sobre-cargarse el generador (cuando el controlador esté funcionando de manera normal y el instrumento indica cero).

Voltímetro: Es útil para fijar el voltaje de operación del controlador y para observar el

voltaje en caso que llegue a sobre-cargarse el generador. Deberá tener rango hasta 300V CA y deberá conectarse a los terminales de servicio a los usuarios para que esté protegido por el disparo por sobre-voltaje.

9.7 Alternativas al control de carga

Se puede querer operar el generador sin controlador de carga. En este caso hay dos opciones disponibles.

Carga Fija

Un método de controlar el voltaje y la frecuencia, es tener cargas conectadas al generador que coinciden exactamente con la potencia generada. Sin embargo, una carga totalmente fija es difícil de lograr cuando hay más de un usuario conectado al sistema, ni se puede permitir el uso de artefactos como refrigeradoras que se prenden y se apagan a cada rato. No se recomienda este método

Control Manual de la Velocidad de la Turbina

El control manual requiere de la presencia de un operador quien corrige el caudal de agua entrando a la turbina cada vez que haya un cambio de carga de los usuarios. Este método no se recomienda para una buena regulación del voltaje y la frecuencia, y a la larga resulta costoso debido al salario que habría que pagar al operador.

9.8 Selección de la Capacidad del Generador, los Capacitores, Cables, y Equipos de Protección

La Figura 9-7 demuestra las conexiones del generador, los capacitores, el controlador y el lastre. Hay varios factores a tomar en cuenta cuando se seleccione un motor a utilizar como generador.

Rango de Voltaje : El voltaje nominal de un motor trifásico de inducción a utilizar como generador monofásico deberá ser seleccionado con cuidado. Si el voltaje nominal es demasiado alto, el generador operará de manera inestable. Si es demasiado bajo, será imposible lograr el voltaje requerido de servicio sin recalentar los embobinados de la máquina.

	Capacidad Nominal del Motor (kW)		
Tipo de motor	0.55 - 1.1	1.5 - 3.0	4.0 - 7.5
2 polos	$V_{GEN}+6\%$	$V_{GEN}+3\%$	V_{GEN}
4 polos	$V_{GEN}+9\%$	$V_{GEN}+6\%$	$V_{GEN}+3\%$
6 polos	$V_{GEN}+12\%$	$V_{GEN}+9\%$	$V_{GEN}+6\%$

Tabla 9-3 Voltajes Recomendados del Motor.

Notar que el voltaje nominal de operación del generador (V_{GEN}) usualmente se selecciona con un valor algo mayor que el estándar nacional para el servicio monofásico, eso para compensar las caídas de voltaje que habrán en el sistema de distribución eléctrica.

Tabla 9-3 demuestra los voltajes nominales recomendados de los motores, en relación a los voltajes de los generadores, para distintas capacidades y velocidades de los motores. Estos voltajes darán operación estable y eficiencia cerca del óptima. Los generadores de capacidades bajas y velocidades lentas requieren de voltajes nominales más altos para compensar sus factores de potencia que son menores que los de los generadores más grandes y rápidos. Los límites aceptables en los voltajes nominales son de +/-6% de los voltajes recomendados.

Ejemplo: Si se va a utilizar un motor de 4-polos de 3kW para generar a 245 Voltios, de la Tabla 9-, se ve un voltaje nominal recomendado de 245V +6%, o sea de 260 Volts. Los límites del voltaje nominal del motor entonces son entre 245V (valor recomendado -6%) y 275V (valor recomendado +6%).

Un aumento de voltaje puede lograrse incrementando en cierto porcentaje la frecuencia. Sin embargo, una alteración de frecuencia trae desventajas a como se indica en la Tabla 9-2 . Pequeños aumentos de frecuencia de hasta aproximadamente el 6% son aceptables. Por ejemplo si se puede conseguir un motor trifásico con un voltaje nominal estándar de 230 Voltios, ese motor puede ser utilizado a una frecuencia aumentada en un 6% de su valor nominal, para que genere a 245 Voltios. La caja de terminales de muchos motores de inducción permite la conexión en estrella o en delta, lo cual permite la posibilidad de dos rangos de voltajes. Los rangos de voltaje para estrella y delta aparecen en la placa del motor. Cualquier de los

dos patrones siguientes será apropiado para un sistema de 220V :

- 380-415V estrella / 220-240V delta
- 220-240V estrella / 127-139V delta

Nota: Motores con capacidades de 3kW y mayores muchas veces están embobinados para 660-720V estrella/ 380-415V delta. Estos no son apropiados para uso como generadores a 220-240V. Muchos fabricantes suplirán motores embobinados por los voltajes que Ud. requiere, pero con tiempos de entrega largos.

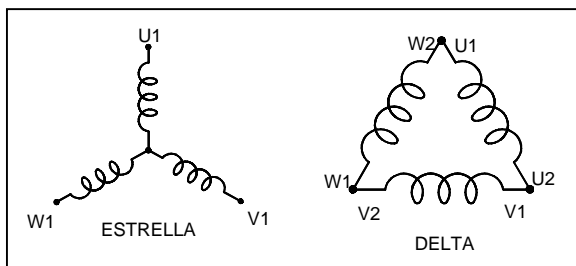


Figura 9-11 Dos rangos de voltajes son posibles en muchos motores de inducción, mediante conexiones de los embobinados en 'Estrella' or 'Delta'

b) Frecuencia: La frecuencia nominal del motor deberá ser la misma que la requerida por las cargas que se conectarán al sistema (es decir 50Hz o 60Hz). Para una unidad turbo-generador de acoplamiento directo, se debe hacer coincidir la velocidad del generador con la velocidad de la turbina. Notar que la velocidad del generador siempre es aproximadamente 10% mayor que la velocidad del motor. Velocidades de giro para tipos de generadores comunes se ven la tabla abajo. Selecciónese una máquina con el número correcto de polos.

Numero de los polos	50 Hz	60Hz
2	3,120 rpm	3,750 rpm
4	1,560 rpm	1,875 rpm
6	1,040 rpm	1,250 rpm

Tabla 9-4 Ejemplos de velocidades de giro de los generadores de inducción

c) El Número IP: Seleccionar un motor que sea IP 55. El número IP indica el nivel de protección que tenga contra la infiltración de líquidos o polvos (p.e. harina de un molino). Los

modelos IP 55 son resistentes a la entrada de líquidos y partículas, por lo tanto son apropiados para uso en pequeñas plantas hidros.

d) Clase de Aislamiento: Escoger siempre la mejor clase de aislamiento disponible. Los tipos más comunes son B y F. Clase F tiene mayor vida que la Clase B. Operando a las mismas temperaturas, el aislamiento Clase F durará cuatro veces más que la Clase B.

e) Potencia Nominal: Estimar la potencia eléctrica máxima a generar, P_{max} , mediante el cálculo de la potencia hidráulica y suponiendo una eficiencia global del 50% (a menos que tenga conocidas las eficiencias reales). Utilizar P_{max} y el voltaje del generador (V_{GEN}) para calcular la corriente.

$$I_{op} = 1.1 \times \frac{P_{max}}{V_{GEN}}$$

donde I_{op} = corriente máxima de operación
 V_{GEN} = voltaje de salida del generador

La corriente nominal del motor, I_{linea} , deberá ser igual o mayor que que la corriente de operación arriba calculada:

$$I_{linea} \geq I_{op}$$

Ejemplo: Se utilizará un generador de 2 polos para un sistema pico hidro que tendrá una generación eléctrica máxima de 1,500 Watts. El voltaje nominal del sistema nacional es de 220 Voltios y el voltaje de generación sera de 220V + 6%, es decir 233V. Calcular I_{op} :

$$I_{op} = 1.1 \times 1500 / 233 = 7.1 \text{ Amps.}$$

Hay disponible un motor de 2 polos de 2.2kW lo cual, al conectar los embobinados en delta, tiene un voltaje nominal de 240Voltios (el voltaje nominal recomendado se ve en la Tabla 9-3) y una corriente de línea nominal de 7.6 Amps. El motor es ideal para usarse en este sistema pico hidro.

Protección por Sobre-Corriente

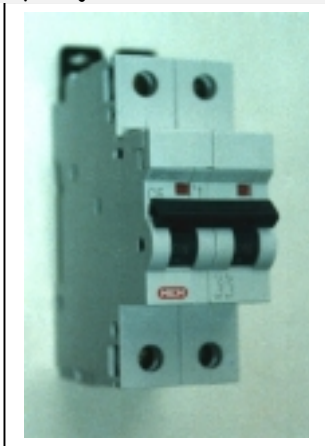
Los embobinados del generador, y los cables eléctricos deberán ser protegidos de corrientes excesivos. Corrientes demasiado altas podrían causar recalentamiento y fallas. Corrientes altas también dañan a los capacitores.

Figura 9-12 Interruptor de Protección de Motor



Para la máxima protección del motor, se debería instalar un interruptor de protección de motor, visto que estos aparatos tienen ajuste para regular la corriente de disparo a la corriente exacta nominal del generador. Rangos típicos de los interruptores de protección de motores son 2-4A, 4-6A, 6-10A, 10-16A, 16-20A, 20-24A. Para el motor de 2.2kW del ejemplo anterior, sería ideal un interruptor de protección de motor de 6-10A. La otra alternativa es el Miniature Circuit Breaker (MCB). Estos, sin embargo, tienen la desventaja que solo se venden con corrientes nominales fijas, de manera que no se pueden ajustar al amperaje exacto del motor.

Figura 9-13 Miniature Circuit Breaker (MCB)



Corriente nominal del cable

La corriente nominal del cable debería ser por lo menos 40% mayor que la corriente nominal máxima del Interruptor de Protección de Motor o el MCB. Se deberá entubar los alambres de la casa turbina en conduit. Las corrientes nominales presentadas abajo refieren a cables sencillos con aislamiento PVC conforme las normas BS 6004, BS 6231 and BS6346.

Area de sección de cables de cobre (mm ²)	Capacidad de corriente (Amperios)
1.0 mm ²	13.5A
1.5 mm ²	17.5A
2.5 mm ²	24A
4.0 mm ²	32A
6.0 mm ²	41A
10.0 mm ²	57A

Tabla 9-5 Capacidades nominales de corriente para cables eléctricos de una sola guía entubados en conduit

Selección de Capacitores

Los capacitores para excitación (C-2C) requeridos para que el motor trifásico de inducción funcione como generador monofásico, determinarán la frecuencia de la electricidad generada. La capacitancia requerida para generar a una frecuencia dada, varía de un motor a otro, y depende de si el voltaje nominal del motor es menor o mayor que el voltaje recomendado en la Tabla 9-3. La regla para calcular la capacitancia requerida es la siguiente:

$$C(\mu F) = k \times \frac{I_{line}}{V_{GEN} \times 2\pi f}$$

donde:

$\pi = 3.1416$

f = frecuencia del generador (Hz)

k depende del voltaje nominal del motor que se va a utilizar. A como se explicó arriba, los límites aceptables para el voltaje nominal del motor son +/-6% del valor recomendado (dado en la Tabla 9-3). El factor, k , se obtiene de la Tabla 9-6:

Voltaje igual al recomendado (conforme la Tabla 9-)	$k = 0.35$
Voltaje +6% de lo recomendado	$k = 0.3$
Voltaje -6% de lo recomendado	$k = 0.45$

Tabla 9-6 Valores del factor, k .

El valor de C , que se calcula con la fórmula anterior, deberá redondearse hacia arriba al valor más cercano por incrementos de 5 μ F, y el valor de $2C$ (2 x el valor calculado de C) se redondea hacia abajo al valor más cercano por incrementos de 5 μ F. En la mayoría de los casos

será necesario ajustar aún más estos valores hasta obtener la frecuencia exacta deseada. Las capacitancias totales C y $2C$ deberán lograrse con varios capacitores conectados en paralelo. Eso permitirá cierto ajuste del $C-2C$ durante la instalación. El voltaje nominal de los capacitores deberá ser considerablemente mayor que el voltaje máximo del generador, p.e. si se va a generar a 220V los capacitores deberían ser para 380V CA. Los capacitores preferiblemente tendrán un accesorio que permite sujetarlos con tornillos en el panel de los equipos de control. (ver Section 9.9).

Selección del CGI

La potencia nominal del controlador deberá ser igual o mayor que la potencia eléctrica máxima que se va a generar, P_{max} . Deberá utilizarse un CGI de buena calidad suplido por un fabricante de buena reputación, visto que este equipo no podrá ser reparado por el operador del sistema pico hidro.

Protecciones eléctricas adicionales

1. Se deberá instalar un pararrayos cerca a la casa turbina. Eso protegerá el equipo generador de picos de alto voltaje a causa de relámpagos en las cercanías, y reforzará también la protección proporcionada al CGI por su varistor. (ver Sección 16).
2. Los cables en la casa turbina deberán ser protegidos de daños mecánicos mediante el uso de conduit. Se conectará el conduit a la caja de conexiones del generador y al panel del controlador y capacitores con accesorios roscados. Eso proporciona una capa adicional de aislamiento, evita que los cables sean arrancados accidentalmente de sus puntos de conexión, y provee una instalación impermeable al agua.
3. Se requerirá de un interruptor principal para poder desconectar el generador del sistema de distribución eléctrica, visto que se tiene que arrancar y parar el generador sin la carga de los usuarios. También puede ser necesario desconectar la carga eléctrica de los usuarios cuando se conectan las cargas mecánicas. Se puede utilizar una cuchilla o un MCB para el interruptor principal.

9.9 Instalación y Conexiones

Además de lo indicado en la Figura 9-7 se deberán respetar las siguientes orientaciones cuando se instale y conecte el generador y equipos eléctricos auxiliares.

Conexión del generador

A como se mencionó en el inciso "Selección del Generador" en la Section 9.8, un motor de inducción con cualquiera de las siguientes conexiones podrá servir para un sistema que va a generar a 220V:

- a) 380-415V estrella / 220-240V delta
- b) 220-240V estrella / 127-139V delta

Para utilizar el motor a), los eslabones en la caja de conexiones del motor deberán de instalarse para la conexión delta. Para utilizar el motor b), se instalan los eslabones para la conexión estrella. Los dos tipos de conexiones se aprecian en la Figura 9-14. Los tres cables que conducen la electricidad hacia el RCD se apretan bajo las arandelas en la caja de conexión del generador.

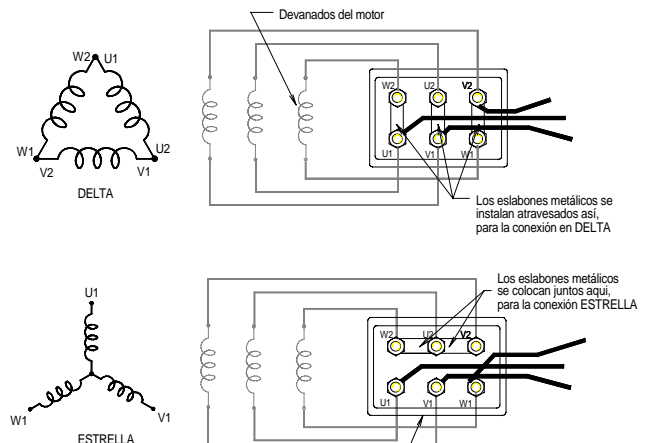


Figure 9-14 Asegurar que los eslabones metálicos estén correctamente instalados en la caja de terminales del generador para conexión ESTRELLA o DELTA conforme los rangos nominales de voltaje del generador.

En caso de utilizar la conexión delta, conectar el cable de tierra a cualquier de los tres terminales. En caso de utilizar la conexión estrella, conectar la tierra a cualquier de los tres terminales individuales pero no al punto estrella. El terminal conectado a tierra es el neutro (N) y los otros dos terminales se rotulan línea viva (L) y 2C. Por el momento no importa cual es L y cual es 2C, visto que este detalle se arreglará durante la puesta en marcha del generador.

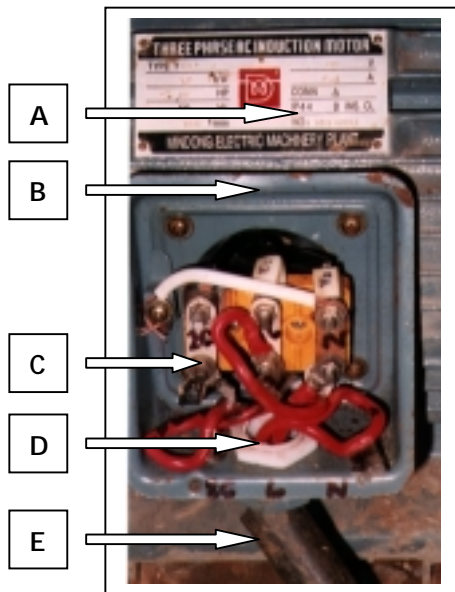


Figura 9-15 Conexiones dentro de la caja de terminales del generador. Varios problemas y soluciones están explicados en la Tabla 9-7

	Problema	Solución
A	IP 44 solamente	Utilizar motores IP 55 que tienen mejor protección contra líquidos y polvos.
B	La caja de conexiones no tiene sello	
C	Conexiones flojas causan recalentamiento	Resocar las conexiones cada 6 meses y utilizar 'arandelas de presión' en los terminales
D	Falta de rotulación por colores	Deberán usarse cables de diferentes colores para evitar errores en las conexiones.
E	Tuberías utilizados para conduit	Utilizar conduit normado para cables y conectores roscados entre el conduit y la caja de terminales del generador (ver foto)

Tabla 9-7 Problemas con las conexiones del generador

Instalación del DCR (Dispositivo de Corriente Residual)

Este accesorio deberá ser montado en la pared entre el generador y el controlador. Cuando sea

posible, se instala en una caja hecha para este propósito que tiene su tapadera transparente, la cual permite que el operador pueda ver cuando haya ocurrido un disparo del aparato.

Conexiones de los Capacitores

Conectar el DCR trifásico (2C, L, N) y el interruptor de protección del motor a como se ve en la Figura 9-7. Las conexiones de los capacitores dependerán de la cantidad de capacitores que se utilicen. Por ejemplo, para un generador que requiere $C=52\mu\text{F}$, $2C=104\mu\text{F}$. Los capacitores disponibles son de $5\mu\text{F}$, $15\mu\text{F}$ y $30\mu\text{F}$. Redondeando el valor calculado de C hacia arriba a $55\mu\text{F}$, y $2C$ hacia abajo a $100\mu\text{F}$ permitirá utilizar los capacitores disponibles, y se conectan a como demuestra la Figura 9-16. Las resistencias de $100\text{k}\Omega / 2\text{Watt}$ se utilizan para descargar los capacitores en caso de disparo del interruptor de protección de motor o el DCR, para evitar golpes eléctricos a las personas.

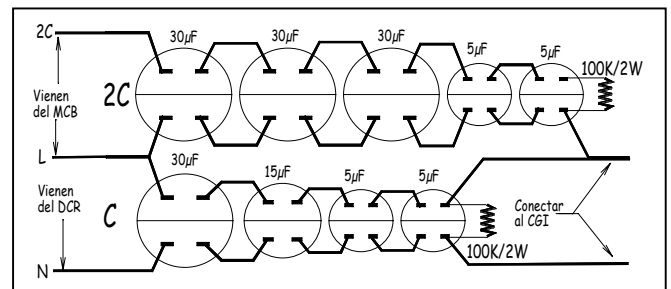


Figura 9-16 Conexión de los capacitores cuando $C= 52\mu\text{F}$

La conexión de varios capacitores para conformar el valor total de C y $2C$, permite efectuar ajustes pequeños para corregir la frecuencia cuando se ponga en servicio el generador. Remover cantidades pequeños de capacitancia aumenta la frecuencia. En caso de reducir la capacitancia C en cierto valor, se deberá reducir la capacitancia $2C$ en aproximadamente el doble de ese valor. La mayoría de capacitores tienen dos conexiones a cada lado, y las conexiones de los alambres pueden hacerse o con estaño o utilizando conectores que se presan con la ayuda de un alicate. Se deberán utilizar los conectores y herramientas apropiados, visto que no es práctico estañar en sitios inaccesibles y llevar los capacitores con alambres estañados de antemano haría imposible los ajustes finales que hay que hacer cuando se

ponga el generador en servicio. También haría difícil la reposición de un capacitor dañado si las conexiones fueran estañadas. Cuando se instalen los conectores y alambres a presión, asegurarse que ambas conexiones, tanto entre el alambre y el conector, como entre el conector y el capacitor, queden bien prensadas y fuertes.

Instalación del CGI .

El CGI normalmente se instala en un panel metálico que se monta a la pared en la casa turbina. El panel preferiblemente tendrá una tapadera bisagrada y será lo suficientemente grande para acomodar los capacitores además de la tarjeta del CGI.

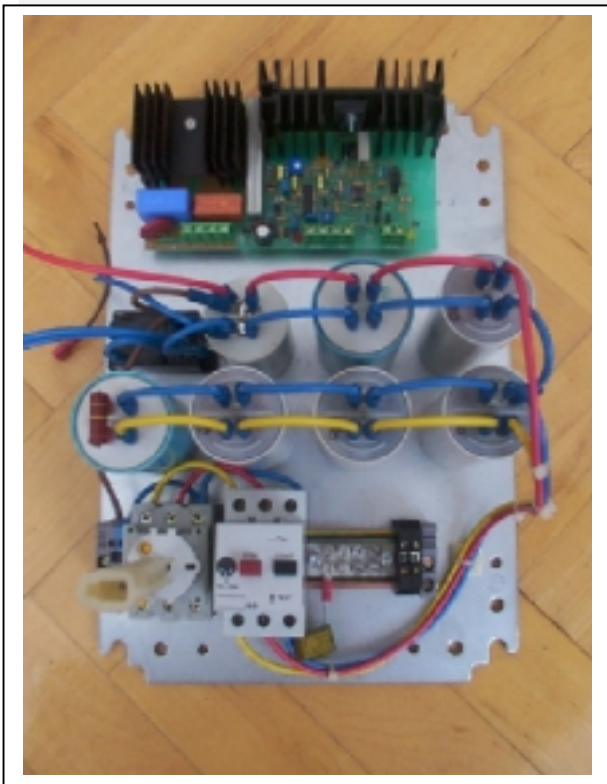


Figura 9-17 El CGI y los Capacitores correctamente instalados

Las luces indicadores de disparos del CGI usualmente se montan en la tarjeta y también en la tapadera bisagrada del panel metálico.



Seguir las siguientes instrucciones para la instalación del CGI:

- El CGI deberá ser instalado en posición vertical, en un lugar seco y bien ventilado.
- Conectarlo conforme las rótulaciones de los terminales, y poner rótulos a todos los alambres de conexiones.
- El panel del CGI deberá tener hoyos para la ventilación, que permiten fluir aire fresco sobre los disipadores de calor montados en la tarjeta del CGI. Se hacen los agujeros para ventilación en las superficies inferior y superior del panel del controlador y se tapan con malla metálica y una tapadera sólida levantada de la superficie, que previene la entrada de gotas de agua (ver la Figura 9-18).
- Averiguar que no hayan alambres que toquen los disipadores de calor, visto que podría dañarse el aislamiento de los alambres por el calor excesivo cuando el CGI esté en servicio.
- Si el panel del CGI es de metal, entonces tiene que ponerse conexión a tierra.
- La calefacción de lastre no deberá ser instalada debajo del CGI, sino por encima del CGI, o a un lado.

El panel deberá de enlavarse, y se pondrá un rótulo con el aviso de 'alto voltaje' en la puerta. Se le pone un segundo rótulo que avisa que la caja del CGI no deberá de abrirse a menos que se hayan desconectados las conexiones entre el generador y el CGI

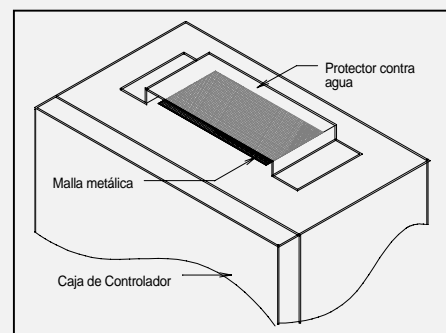


Figura 9-18 Diseño apropiado para la ventilación del panel del controlador. Deberá de proveerse de una entrada de aire también en la superficie inferior del panel para permitir fluir aire fresco sobre los componentes