

# 15 ALAMBRADO DOMICILIARIO

- 15.1 Consideraciones Principales
- 15.2 El Arnés de Alambres
- 15.3 Limitador de Carga
- 15.4 Diseño del Limitador de Carga



Figura 15-1 Instalación de circuitos del alambrado domiciliario (Nepal)

## 15.1 Consideraciones Principales

Las consideraciones principales en el alambrado domiciliario son:

- La seguridad del consumidor
- La confiabilidad
- Versatilidad en la ubicación
- Limitación de la carga conectada
- Costo bajo
- Facilidad de instalación

### La seguridad del consumidor

Los mayores riesgos a la seguridad del consumidor son los choques eléctricos y los incendios. Estos riesgos se minimizan con las siguientes medidas:

- 1) Conectar un DCR
- 2) Instalar un interruptor separador a cada casa
- 3) Aterrizar todo aparato eléctrico que tenga carcasa de metal
- 4) Usar cable de forro aislante doble del calibre adecuado y una red de alambres prefabricada, para el alambrado de la casa
- 5) Asegurar que no hay alambres expuestos
- 6) Ubicar las tomacorrientes fuera del alcance de los niños pequeños
- 7) Usar un fusible o MCB de tamaño apropiado para proteger a todo el alambrado.
- 8) Dar capacitación acerca del uso seguro de la electricidad y colocar un aviso de peligro en el limitador de carga

- 9) No permitir que bombillos calientes ni cocinas eléctricas, lleguen a tocar materiales que prenden fuego.

### Protección al consumidor mediante un DCR

El riesgo de que una persona quien toca accidentalmente a un cable eléctrico desnudo reciba un choque eléctrico peligroso, se minimiza con la instalación de un DCR. Se debe instalar DCRs en todo sistema pico hidro. Lo ideal es que cada casa tenga su propio DCR. Sin embargo los DCRs son costosos por lo cual es más usual que se comparta un DCR entre varias casas, o, en un sistema pequeño, se instala un solo DCR en la casa de máquinas. El nivel de protección lograda es igual con un solo DCR instalado en la casa de máquinas, aunque es inconveniente en un sistema grande porque una falla en cualquier casa disparará y cortará el servicio a todas las casas. Eso se demuestra en la Figura 15-2. Este dispositivo, sin embargo, no puede eliminar el peligro de un choque eléctrico peligroso en caso que alguien toque ambos conductores a la misma vez. Se deberá entonces avisar a la gente del lugar acerca del peligro de tocar un cable, especialmente cuando se utilicen cables desnudos en el sistema de distribución eléctrica.

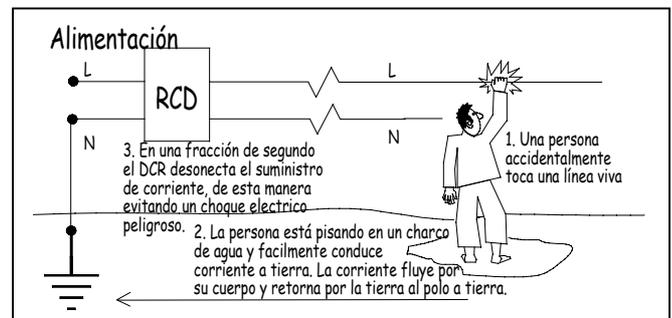


Figura 15-2 El peligro de un choque eléctrico se disminuye cuando se instala un DCR (Detector de Corriente Residual)

## 15.2 El Arnés de Alambre

Este es un circuito de alambres para instalación domiciliario, preparado de antemano y "listo para instalar". Es ensamblado por una persona capacitada, es seguro y confiable, y contiene todos los componentes necesarios (limitador de carga, portalámparas para bombillos, tomacorrientes, etc.).

La utilización de arneses de alambre es especialmente apropiado para la electrificación de aldeas con proyectos pico hidro. Casas en áreas rurales raras veces requieren de circuitos domiciliarios complicados. La gente que recibe

servicio eléctrico por primera vez usualmente no tienen muchos electrodomésticos. En muchos casos los únicos aparatos que se conectarán son bombillos para iluminación y un radio o televisor. Aún los consumidores quienes utilizan muchas cargas, se beneficiarán por un circuito de alambrado "pre-fabricado" visto que éste es más económico.

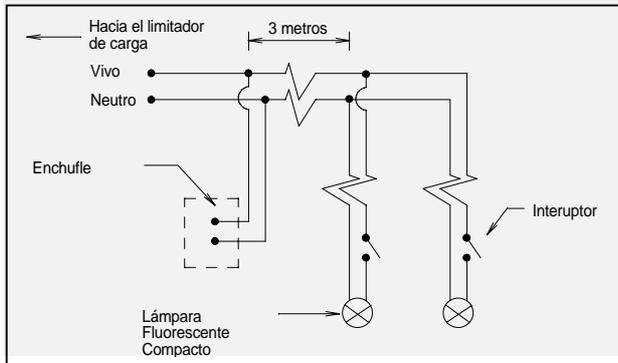


Figura 15-3 Diagrama de los circuitos de un arnés de alambre típico.

### Diseño del Arnes de Alambre

**Flexibilidad:** Muchos usuarios nuevos querrán cambiar las posiciones de sus bombillos y candelas eléctricas después de instaladas. Eso en parte se debe a la falta de experiencia con la electricidad. Si se proporciona cable de sobra y las portalámparas ya estén conectadas, entonces los usuarios podrán mover sus luces a nuevas ubicaciones sin correr riesgo de choques eléctricos. El arnés se instala amarrando los cables firmemente a las cerchas de madera que tiene la casa. Cable en exceso se enrolla y se suspende donde no molesta cerca del techo. La cantidad de cable incluido en el arnés dependerá del tamaño de las casas de lugar.

**Carga conectada:** La cantidad de tomacorrientes y portalámparas conectadas al arnés de alambres, depende de la potencia a la cual el consumidor se ha suscrito. Un arnés típico como el que se ve en la Figura 15-3, tiene un tomacorriente y dos portalámparas para bombillos de iluminación. La carga que se podrá conectar sería dos lámparas fluorescentes compactas (9W c.u.) y un radio que se enchufa en la tomacorriente de 2 pines (2W), por un total de 20W. Esta carga entonces se utiliza para calcular el amperaje del limitador de carga correspondiente (ver Sección 15-4).

**Cable:** El amperaje nominal del cable a usar para el arnés y para todos los alambres fijos del alambrado domiciliario, deberá ser por lo menos el 40% mayor que la corriente nominal del fusible o MCB que se instala para proteger la instalación eléctrica de la casa (ver Secciones 15-3 y 15-4). El cable deberá

llevar forros aislantes dobles para la mayor seguridad de los consumidores.

### Puesta a Tierra de la Casa

No hay necesidad de poner polos a tierra en las casas, a menos que sea probable que el cliente instale algún electrodoméstico que tenga carcasa o caja metálica.

Cargas domiciliarias que tienen carcasas metálicas, como por ejemplo las cocinas eléctricas, sí, requieren de puestas a tierra. Entonces en caso que se produzca una falla del alambrado interno del aparato que resulta en el pase de voltaje hacia la carcasa metálica, se disparará el DCR para desconectar la alimentación de electricidad y proteger al usuario. Si no se instala la puesta a tierra, existe peligro de un choque eléctrico. Eso se ilustra en la Figura 15-4

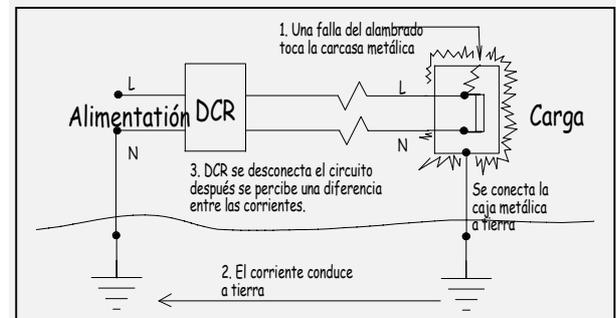


Figura 15-4 Protección de las cargas del consumidor mediante un DCR.

Si se requiere de la puesta a tierra, se deberá proveer un polo a tierra cerca de la casa del consumidor. Para mayor información acerca de la instalación de polos a tierra, ver Sección 9.3. El cable que se amordaza al polo a tierra se conecta entonces en su otro extremo a un tornillo libre del tablero de bornes en la caja de acometida de la casa, y ahí se conecta también el alambre de tierra que va hacia el aparato. El cable a usar dentro de la casa debe ser del tipo "gemelo con tierra". Se utilizará una tomacorriente de tres pines para alimentar al aparato. El alambre de tierra del cable triple se conecta a la carcasa metálica del aparato, por dentro.

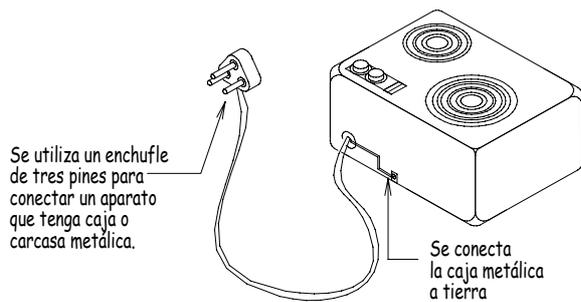


Figura 15-5 Los electrodomésticos con carcasa de metal deberán aterrizzarse

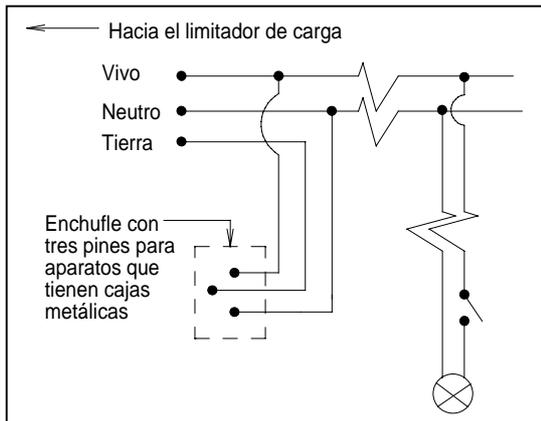


Figura 15-6 Si se van a conectar aparatos con carcasas metálicas, hay que instalar un polo a tierra.

### 15.3 El Limitador de Carga

En sistemas eléctricos convencionales, se cobra al consumidor de acuerdo a la lectura de un contador que mide el consumo de kilowatio-horas de la casa. Eso no es apropiado para sistemas pico hidro visto que no previene sobre-cargas al generador pequeño, ni promueve el consumo de electricidad durante las horas "fuera de pico" cuando la electricidad disponible muchas veces se desaprovecha. Una mejor opción para los sistemas pico hidro es una acometida que limita la corriente, y donde los consumidores pagan una tarifa fija mensual que les permite consumir corriente hasta un límite prescrito, continuamente. Eso elimina la posibilidad de sobre-cargas al generador y promueve el consumo en horas "fuera de pico". Un dispositivo limitador de corriente impide que el consumidor jale más corriente que la que ha contratado, porque si lo intenta hacer, el dispositivo corta la alimentación de electricidad a la casa temporalmente. Algunos tipos de limitadores de carga restablecen automáticamente el servicio, otros tienen que ser reconectados manualmente. Se recomienda fuertemente el uso de limitadores de carga por las siguientes razones:

- Los limitadores de carga son menos costosos y más fáciles de instalar que los contadores de

kw-horas. Con el limitador de carga los consumidores no pueden jalar más potencia de la que tienen suscrita (contratada).

- El cobro mensual a los usuarios se ve simplificado cuando la tarifa es un monto fijo mensual.
- La carga total de los consumidores puede ajustarse a la capacidad de potencia del generador. De esta manera se evitan sobrecargas al sistema, y por lo tanto el voltaje y frecuencia del sistema se mantendrán en sus niveles normales.
- El alambrado domiciliario es automáticamente protegido de daños por corrientes excesivas

El tipo de limitador de carga a utilizar depende del nivel de consumo de corriente que se va a permitir: Cuando es menor de 0.5 Amps, utilizar un limitador del tipo PTC (Positive Temperature Coefficient Thermistor)

Cuando es mayor de 0.5 Amps, utilizar un limitador del tipo MCB o sea un Electronic Current Cut-out (ECC).

En caso de utilizar el limitador tipo PTC, se deberá instalar también un fusible y un interruptor separador. El fusible sirve para proteger el PTC de posibles daños por corrientes altas. El interruptor permite el ajuste del alambrado interno de la casa de manera segura, y facilita la detección de fallas.

### 15.4 Diseño del Limitador de Carga

Un diseño de limitador de carga de bajo costo se demuestra en la Figura 15-7

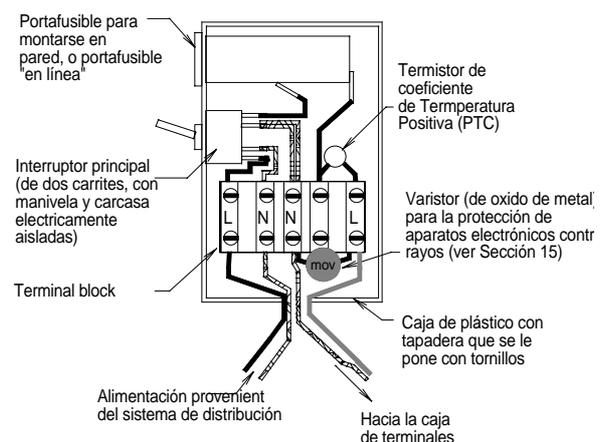


Figura 15-7 Se conecta un limitador de carga entre en la acometida entre el sistema de distribución y el alambrado de la casa. Si la carga es menor de 0.5 A, usar tipo PTC.

### Selección de PTCs

El PTC tiene un nivel de corriente debajo de lo cual está garantizado de no dispararse ( $I_{nt}$ ). Eso se utiliza para seleccionar el PTC apropiado para un nivel de carga dada.

El interruptor separador permite el cambio o reparación del alambrado domiciliario y facilita la detección de fallas porque permite desconectar el circuito domiciliario rápidamente de la alimentación. Se instala un fusible en serie con el interruptor en la línea viva. Se selecciona un fusible que protegerá el PTC de corrientes altas que lo podrían dañar.

Para el interruptor separador se usa una cuchilla de dos polos (carriles) para permitir la desconexión de ambos cables, el vivo y el neutro. Un interruptor que corta solo la línea viva haría difícil la identificación de fallas que podrán haber hecho disparar el RCD, visto que la línea neutra estaría siempre conectada. Un interruptor de dos polos también ofrece mayor protección a las cargas de los consumidores contra rayos, con tal que los usuarios desconecten las cargas durante tormentas eléctricas. El amperaje nominal del interruptor debe ser por lo menos el doble del amperaje nominal del fusible. El voltaje nominal del interruptor debe ser mayor o igual al voltaje nominal del generador.

### Selección de Fusibles

Hay cinco consideraciones para la selección de los fusibles que se instalarán en conjunto con el limitador de carga del diseño arriba descrito.

1) La primera consideración es la *corriente nominal* (Fuse  $I_{rated}$ ). El fusible debe ser diseñado para dispararse a un amperaje por debajo de la corriente máxima del PTC (PTC  $I_{max}$ ). La corriente de disparo del fusible, sin embargo, tiene que ser bastante mayor que la corriente garantizada de "no disparo" del PTC ( $I_{nt}$ ).

$$PTC I_{nt} < Fusible I_{rated} < PTC I_{max}$$

2) La segunda consideración en la selección del fusible es la *capacidad de rotura*. Esta es la corriente a la cual existe peligro de que el circuito se restablezca después de cortado, por arqueo a través de los contactos del fusible. La capacidad de rotura tiene que ser mayor que la corriente máxima en sobrecarga que el generador es capaz de producir. La corriente continua más alta ocurre cuando el generador está sobrecargado. Eso típicamente es el doble de su corriente nominal de marcha ( $I_{op}$ ). Seleccione un fusible tal que no exista peligro de exceder su capacidad de rotura:

$$\text{Capacidad de Rotura} \geq 3.0 \times I_{op}$$

3) Hay fusibles disponibles con envolturas de vidrio y de cerámica. La ventaja del vidrio es que es fácil ver si el elemento alambre del fusible está todavía intacto. Los fusibles de cerámica, por otro lado, tienen mayores capacidades de rotura. Se escoge el fusible de vidrio con tal que tenga la capacidad de rotura suficiente.

4) El voltaje nominal del fusible debe ser igual o mayor que el voltaje nominal del generador (es decir 250V o 125V según el caso)

5) La última consideración es el tamaño del fusible. Eso depende de las dimensiones del portafusible. Asegurar que fusibles nuevos siempre tengan dimensiones iguales a los que reponen.

6) Tipos de Fusibles: Se deben escoger fusibles de acción rápida, pues los de acción retardada son demasiado lentos para proteger al PTC.

#### Nota: Prevención de "Bypaseo"

Se requerirá de algún tipo de protección para impedir que las personas puentean alrededor del limitador de carga. Para este propósito se coloca un sello o un candado pequeño a la tapadera de la caja de acometida de cada casa, para desalentar la apertura no-autorizada de la caja.

# 16 PROTECCIÓN DE SISTEMAS PICO HIDRO CONTRA RELÁMPAGOS

- 16.1 Golpes Directos de Rayos
- 16.2 Golpes Indirectos de Rayos
- 16.3 Tipos de Pararrayos
- 16.4 Protección de los Equipos en la Casa de Máquinas
- 16.5 Protección de las Cargas de los Consumidores

Los rayos pueden causar la muerte o lesiones graves en las personas, y daños a edificios y equipos. Se deben tomar las medidas necesarias para minimizar estos riesgos, especialmente en áreas propensas a tormentas eléctricas.

## Estimado del Riesgo

Factor de Compensación A: Grado de Aislamiento	
Estructura ubicada en una área grande llena de otras estructuras o árboles de alturas similares o mayores, p.e. en un bosque	0.4
Estructura ubicada en una área con pocas estructuras o árboles de alturas similares	1.0
Estructura completamente aislada o que tiene altura del doble o más, comparada con los árboles de los alrededores.	2.0

Factor de Compensación B: Tipo de Terreno	
Terreno plano a cualquier elevación	0.3
Lomas	1.0
Montañas con elevaciones entre 300m y 900m s.n.m.	1.3
Montañas por encima de los 900m	1.7

Trate de identificar en el mapa (Figura 16-4) la cantidad de días de tormentas eléctricas por año en la región suya. Multiplicar por los Factores de Compensación A y B, y utilizar la siguiente tabla para estimar el riesgo de rayos.

Estimado de Riesgo por días de tormentas eléctricas anuales	
Riesgo Alto	Más de 100
Riesgo Mediano	25 a 100
Riesgo Bajo	Menos de 25

Eso da un estimado muy "grosso". Para obtener un estimado de mayor precisión acerca del riesgo de rayos, hable con la gente de la comunidad donde se instalará el sistema de distribución eléctrica para saber si los rayos en la zona son frecuentes o raros.

Esta sección trata de protección de las líneas de distribución eléctrica contra golpes directos y golpes indirectos de rayos.

## 16.1 Golpes Directos de Rayos

No existen equipos que pueden proporcionar protección total en el caso de un golpe directo de rayo. Por este motivo es esencial que el riesgo de los golpes directos se reduzca al mínimo posible mediante la selección cuidadosa de las rutas para las líneas eléctricas. El riesgo de golpes directos se reduce cuando la línea de distribución pase por una área grande de árboles porque hay buenas probabilidades que el relámpago pegará en un árbol grande a cierta distancia y no directamente en los cables. Cuando la cantidad de árboles es poca, es mejor mantener las líneas de distribución a distancias de por lo menos 10m de los árboles, visto que el rayo puede saltar desde un árbol a las líneas. Eso puede ocurrir porque los cables proporcionan un ruta de menor resistencia a tierra que los árboles..

Evitar de ubicar las líneas de distribución a lo largo de un filo expuesto al cielo, especialmente en áreas propensas a rayos. Si no hay otra ruta posible, entonces utilizar cable blindado enterrado. Cuando sea posible, ubicar las rutas de las líneas en los valles y no en partes altas del terreno.

### Nota sobre "Overhead Ground Wires (OGW)" (cables de tierra elevados)

Algunas personas han recomendado la instalación de un cable de tierra elevado por encima de los cables vivo y neutro, con el objetivo de conducir las descargas eléctricas de los rayos a tierra. Eso no se recomienda para redes de distribución de bajo voltaje. No se recomienda por el motivo que el rayo puede saltar desde este cable al cable vivo o neutro, provocando voltajes peligrosos en dichos conductores. El concepto de los OGW solo funciona para líneas de muy altos voltajes, donde el claro entre el OGW y los demás cables es mucho mayor, y donde se pone el OGW a tierra a intervalos cortos.

## 16.2 Golpes Indirectos de Rayos

Se dice "golpe indirecto" cuando el rayo pega no directamente en las líneas sino en un objeto o en la tierra cerca de las líneas de distribución; el golpe indirecto induce altos voltajes en los cables. Aunque estos voltajes no son tan altos como en el caso de un golpe directo, son sin embargo peligrosos, especialmente para equipos electrónicos que pueden estar conectados al sistema. El rayo induce voltajes entre la línea viva y el neutro y entre neutro y la tierra. La oleada de voltaje "línea-a-neutro" puede reducirse mediante el enrollado de los cables juntos en caso que los conductores son del tipo que lleva forro.

## 16.3 Tipos de Pararrayos

### Entre-hierro

El pararrayo convencional consiste en un espacio calibrado a través de lo cual el rayo puede saltar, y una resistencia en serie con este espacio que sirve para limitar el flujo de corriente después que haya pasado la oleada de voltaje. Son más lentos para actuar que los pararrayos modernos, y no detienen el voltaje a un nivel tan bajo. Ofrecen protección razonable para equipos eléctricos tales como cables y motores, pero poca protección para equipos electrónicos. Los precios son típicamente de \$10 a \$20. Escoger el voltaje del pararrayo de manera que no opere durante la operación normal del generador, pero que entre en operación cuando el voltaje del sistema sobrepase el voltaje máximo del disparo por sobre-voltaje del Controlador CGI (ver Section 9.6). Es importante que el voltaje sea lo suficientemente bajo para proteger al generador, pero no tan bajo que el pararrayo dispare por fluctuaciones normales en el voltaje del generador (por ejemplo cuando se desconecte de repente toda la carga al generador). Se recorta la vida útil del pararrayo si dispara de esta manera.



Figura 16-1 Pararrayo convencional

### Varistores

Los varistores no tienen ni un espacio para que salte el rayo, ni una resistencia en serie. Ellos consisten en dos electrodos separados por un material que es buen aislante eléctrico debajo de cierto voltaje de entrada, y se vuelve un excelente conductor arriba de este voltaje crítico. Son más rápidos en actuar y usualmente se ajustan a voltajes menores que los pararrayos convencionales, por lo tanto proporcionan mejor protección a los equipos electrónicos como televisores, lámparas fluorescentes que tienen balastos electrónicos, y el controlador del generador de inducción. Para amperajes bajos, son muy baratos (aproximadamente \$1 c.u.) pues son fabricados en masa para aparatos electrodomésticos. Sin embargo, para corrientes más altas, diseñados para uso en líneas de distribución eléctrica aéreas, son caros (\$50 a \$100) especialmente en comparación con los pararrayos convencionales.

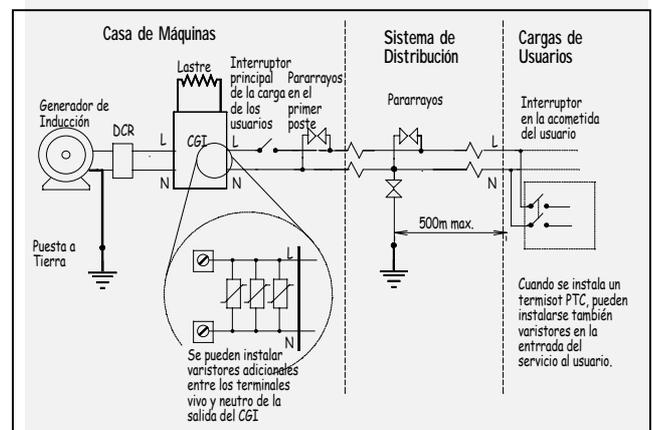


Figura 16-2 Conexión de pararrayos para prevenir daños a equipos eléctricos y reducir peligro a los consumidores de la electricidad.

#### 16.4 Protección de los Equipos en la Casa de Máquinas

Se conecta un pararrayos entre línea viva y el neutro en el primer poste de distribución eléctrica inmediatamente afuera de la casa de máquinas a como se enseña en la Figura 16-2. Se utiliza un interruptor de aislar, de un solo polo (carril) en vez de un interruptor de dos polos para que el neutro queda puesto a tierra aún cuando la planta esté aislada de la carga. Eso garantiza que siempre hay una vía a tierra. Cuando sea posible durante las tormentas eléctricas, se deberá desconectar la carga del generador y apagar la planta.

##### Protección del CGI

Se instala un varistor (estañado) a la tarjeta del CGI para proteger a los componentes electrónicos sensibles a oleadas de voltaje. Se recomienda que en áreas de alto y mediano riesgo, se instalen varistores adicionales para suplir protección adicional. Estos deberán conectarse en paralelo, a través de los terminales de salida a como se ve en la Figura 16-2. La conexión de varios varistores en paralelo permite manejar mayor corriente para reducir el voltaje que pueda ocurrir a través de los componentes electrónicos del CGI.

Los varistores adicionales deben tener voltajes nominales de entrada por lo menos 25% por encima del voltaje nominal del sistema de distribución. Eso impedirá que se dañen bajo condiciones normales de operación. Sin embargo, su voltaje nominal de entrada debe ser menor que del varistor estañado. En caso que se dañen, pueden ser fácilmente repuestos ya que no están estañados. Por ejemplo, si un varistor con un voltaje nominal de entrada de 420V CA (que es un valor usual en sistemas de 220 V) está ya instalado en la tarjeta del CGI, entonces se puede lograr mayor protección contra rayos con la instalación de varistores adicionales de 320V nominales.

#### 16.5 Protección de las Cargas de los Consumidores

Es difícil especificar la cantidad de pararrayos requeridos para un sistema pues eso depende de muchos factores incluyendo la frecuencia de los rayos, el costo de reposición de aparatos dañados, y el costo de los pararrayos. Las normas para sistemas micro hidro en Nepal estipulan que la distancia máxima entre cualquier consumidor y el pararrayos más cercano no puede ser mayor de 500m y tiene que ser menor la distancia en áreas con alto riesgo de rayos. En la selección de las ubicaciones exactas de los pararrayos que se instalan para la protección de las cargas de los consumidores, deberá darse prioridad a los lugares específicos que sean más propensos a recibir golpes de rayos.

Cuando se instalen los pararrayos, normalmente se pone el neutro a tierra donde se instala el pararrayo, para minimizar la oleada entre neutro y tierra, visto que eso puede causar ruptura del aislamiento del cable del neutro. Eso no es posible cuando hay un DCR instalado en la casa turbina, porque la puesta a tierra del neutro provocará un disparo del DCR. Más bien se debe aterrizar el neutro a través de un pararrayo adicional, a como se ve en la Figura 16-2.

##### Selección de Pararrayos

El pararrayo neutro-a-tierra puede ser del tipo convencional de descargador a distancia explosiva, visto que se requiere solo para evitar ruptura del aislamiento.

La selección de los pararrayos línea-a-neutro depende del tipo y el valor de las cargas que protejan. Cargas tales como bombillos eléctricos incandescentes, motores y calefacciones que no contienen componentes electrónicos estarán protegidos adecuadamente por pararrayos convencionales. Sin embargo, cargas que incluyen componentes electrónicos, tales como televisores, radios y lámparas fluorescentes, son mucho más sensibles y requieren de varistores para su protección. La mejor protección se logra con varistores montados en los postes, con corrientes nominales de más de 50,000 Amperios

visto que éstos aguantan descargas de energía muy altas.

Una alternativa más barata que funciona bien con los limitadores de carga del tipo termistor PTC (ver Figura 15-7) es la instalación de un varistor, tipo disco, entre línea y neutro al lado de la carga del limitador, en conjunto con un pararrayo convencional montado en un poste. Cuando ocurre una oleada de voltaje inducido por un golpe indirecto de un rayo, el varistor limitará el voltaje en la casa, y el voltaje en exceso se descargará a través del PTC. Al subirse el voltaje, entrará a operar el pararrayo convencional que conducirá la mayor parte de la corriente a tierra. Notar que eso aplica mayor carga al PTC. Los PTC son más baratos de reponer que la mayoría de artefactos electrodomésticos.

Se debería instruir a los consumidores que durante tiempos de tormentas desconecten su alimentación eléctrica por medio del interruptor separador en la acometida a su casa. Notar el uso de un interruptor de dos polos en la acometida de los consumidores para permitir aislar tanto el vivo como el neutro (Sección 14.4) Este es el método más seguro para prevenir daños a cargas delicadas como las lámparas fluorescentes compactas. Donde las instalaciones del consumidor requieren aterrizzarse es importante

que la puesta a tierra del consumidor esté separada de la puesta a tierra del pararrayos y preferiblemente con una distancia mínima entre las dos tierras de 10m. Se toma esta precaución porque altas corrientes a tierra pueden causar voltajes peligrosos cerca de la conexión a tierra.

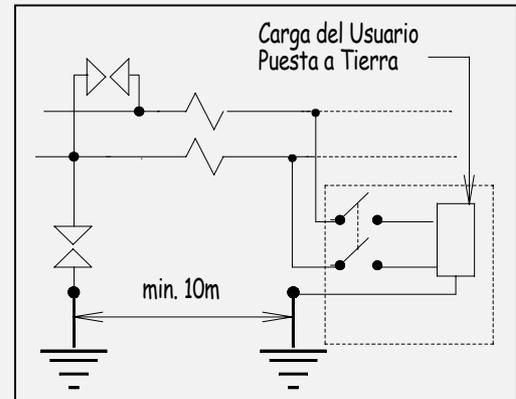
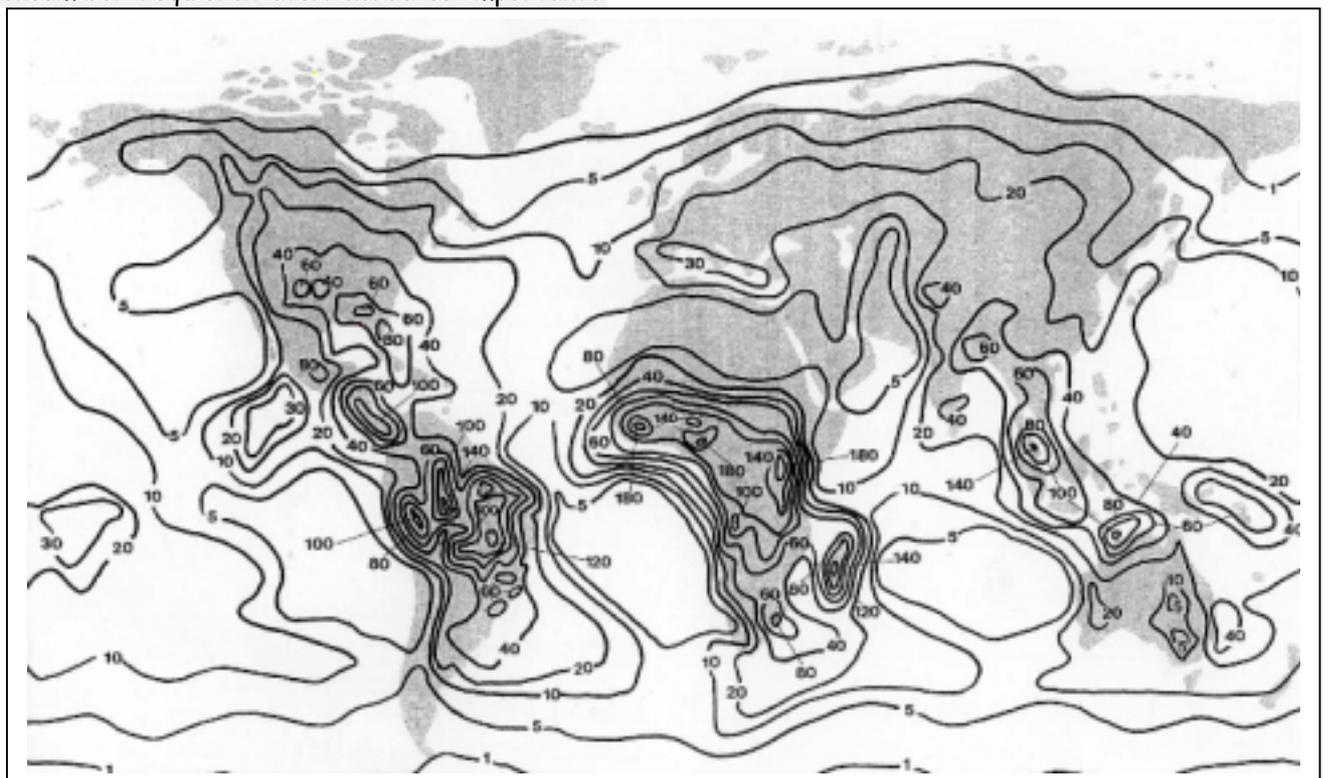


Figura 16-3 Asegurar que el polo a tierra del consumidor (en caso que se requiera), quede a una distancia de por lo menos 10 metros del pararrayos neutro-a-tierra

Figura 16-4 Mapa mostrados los días de tormentas eléctricas en diferentes partes del mundo (basado en los archivos del World Meteorological Service, año 1955).



# 17 PRUEBAS, PUESTA EN SERVICIO Y OPERACIÓN

## 17.1 Revisión Final

Revisar lo siguiente antes de arrancar la turbina por primera vez.

El generador, el interruptor de protección de motor, y el cable de conexión están correctamente seleccionados (Section 9.8)

- El generador, los capacitores, el controlador, el lastre, el DCR, el interruptor de protección de motor, y el polo a tierra han sido conectados conforme la Figura 9-7 y las instrucciones de los fabricantes
- Todas las conexiones eléctricas están bien socadas y el forro de los cables no ha sido pelado más que lo necesario (no debe de haber cables desnudos expuestos en los bloques de terminales).
- La turbina y el generador están libres para girar.
- Partes móviles como poleas y bandas tienen protectores para proteger a las personas en la casa de máquinas.
- El interruptor de motor y el DCR están en posición de encendidos.
- El canal de desfogue está libre de obstrucciones
- Las uniones de la tubería forzada están herméticas, y la tubería forzada está anclada y enterrada.
- El filtro en la boca de la tubería forzada está libre de basuras.

## 17.2 Arranque

- Desconectar las cargas de los usuarios utilizando para eso el interruptor principal ubicado cerca del controlador (Nota: El MCB y el DCR deben de estar en posición de encendidos, es decir, conectados).
- Abrir la válvula de gaveta cerca de la tobera lentamente hasta que salga un chorro de aproximadamente la mitad del caudal total de la planta. Esperar 60 segundos para desalojar tierra o aire que pueden estar en la tubería forzada.

- Cerrar la válvula y quitar la tapadera de la turbina. Verificar que no hay obstrucciones en la tobera.
- Reponer la tapadera y abrir la válvula lentamente.
- El generador debe comenzar a excitarse, y eso se demuestra en la lectura del voltímetro. El voltaje debe subir hasta aproximadamente el valor del voltaje nominal del generador.
- Verificar que la lectura del indicador del lastre indica un valor mayor que cero. Eso indica que el controlador y el lastre estén funcionando. Si no se observa o no hay lectura en el indicador del lastre, referirse a la Sección 18.
- Ajustar la posición de la placa de la tobera para dar la lectura más alta posible en el indicador del lastre.

## 17.3 Conexión del Generador

Hay dos posibles conexiones del generador. Solo una de éstas va a funcionar correctamente. Operación continua con la conexión incorrecta sería propensa a dañar el generador.

- Notar la lectura del lastre cuando la válvula esté completamente abierta.
- Cerrar la válvula y quitar la tapadera de la caja de conexiones del generador una vez que haya dejado de girar.
- Intercambiar las conexiones rotuladas "L" y "2C" (ver Figura 9-3).
- Reponer la tapadera y re-comenzar la turbina, abriendo la válvula.
- Si el indicador del lastre ahora da una lectura mayor, entonces ésta es la conexión correcta. Sino, volver las conexiones a como estuvieron durante la primera prueba.

Nota: Con la conexión correcta, el generador operará con menos ruido y menos calor.

## 17.4 Ajuste de voltaje y frecuencia.

- El ajuste del voltaje está ubicado en el controlador. Ajustarlo, guiándose por el voltímetro, conforme las instrucciones del fabricante, hasta obtener el valor necesario.
- La frecuencia debe ser entre 49 - 52.5 Hz para un sistema de 50 Hz, o 59 Hz- 63 Hz para un sistema de 60 Hz).
- No operar a una frecuencia por debajo del mínimo arriba indicado. Operar a baja frecuencia reducirá la vida útil del generador y otros aparatos en el sistema.
- Una frecuencia un poco por encima del valor máximo arriba indicado, usualmente no tendrá

efectos dañinos, con la excepción de cargas movidos por motores que son sensibles a la velocidad, tales como bombas y abanicos.

- Para medir la frecuencia usar un frecuencímetro o un tacómetro y calcular la frecuencia partiendo de la velocidad de giro del eje del generador (rpms), a como sigue:

Número de polos	Frecuencia (Hz)
2	Giro del eje / 63
4	Giro del eje / 31.5
6	Giro del eje / 21

- El cálculo de la frecuencia partiendo de la velocidad de giro del eje tiene una precisión de aproximadamente 5%.
- Se puede ajustar la frecuencia con la cantidad de capacitancia de los capacitores. Quitando capacitancia aumenta la frecuencia. Recordarse que habrá que quitar o anexas capacitancia a la fase 2C que sea el doble de lo que se cambia en la fase C (ver Figura 9-3).
- En caso que se va a operar la turbina a diferentes caudales, chequear la frecuencia sobre el rango de caudales y corregir si se requiera.

Notar que un cambio en la frecuencia afectará la potencia del sistema, visto que afecta la eficiencia de la turbina y también la eficiencia del generador. Se valorizan los cambios observando la lectura del indicador del lastre, sin cargas de los consumidores conectadas al sistema.

### 17.5 Tamaño de la carga del Lastre

El indicador del lastre debe marcar entre 40% a 100% cuando no hay cargas de los consumidores conectadas.

- Si el indicador del lastre marca por debajo del 40% eso significa que la carga conectada al lastre es demasiado grande y debería cambiarse por una carga más pequeña. Por ejemplo, se pueden desconectar algunas de las resistencias (ej. los aros de cocina).
- Si el indicador del lastre marca 100% entonces confirmar que todas las resistencias están funcionando (que se están calentando). Si alguno esté frío, verificar que las conexiones estén firmes, y por último chequear la resistencia del elemento de calefacción con un ohmímetro.
- Si todos los elementos de calefacción están funcionando normalmente y la lectura del indicador sigue marcando 100%, entonces aumentar la cantidad de lastre, pero sin sobre-

pasar la capacidad nominal del controlador ni del generador.

- Si eso resulta imposible, entonces operar la turbina con potencia reducida (menos agua). Otra opción en este caso sería aumentar la capacidad del controlador y/o el generador.

### 17.6 Puesta en servicio del sistema de distribución.

- Revisar todos los postes y cables del sistema de distribución para asegurar que han sido correctamente instalados. Tener en mente especialmente los requerimientos de seguridad como la altura de los cables por encima del suelo y las flechas de los cables.
- Confirmar que todo el alambrado domiciliar ha sido instalado conforme las medidas de seguridad y que los consumidores han sido instruidos referente a los peligros de la electricidad.
- Si hay cargas inductivas conectadas tales como lámparas fluorescentes o motores, chequear la frecuencia cuando éstas están funcionando. Si la frecuencia se pone demasiado alta entonces instalar capacitores de corrección de factor de potencia a las cargas inductivas de importancia.

### 17.7 Operación

Para prender el generador:

- desconectar las cargas de los consumidores.
- abrir la válvula de control del agua lentamente hasta que esté completamente abierta o hasta lograr la potencia requerida.
- conectar la carga de los consumidores.
- Si se nota mucha potencia disipándose en el lastre, reducir el caudal para reducir la temperatura y prolongar la vida útil del lastre.

Para parar el generador:

- desconectar las cargas de los consumidores.
- cerrar la válvula de control de agua lentamente hasta que esté completamente cerrada.

# 18 IDENTIFICACIÓN DE FALLAS

Problema	Posibles Causas	Solución
No hay salida de voltaje/Potencia baja	Potencia insuficiente en la turbina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar el abastecimiento de agua, buscar obstrucciones en la tobera, medir velocidad del generador.</li> </ul>
	Defectos en el alambrado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar el alambrado y asegurar que el MCB y el DCR estén prendidos.</li> </ul>
	Cantidad incorrecta de capacitancia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar que los capacitores estén conectados conforme el diagrama.</li> <li>• Verificar que los valores de los capacitores son los correctos para el generador.</li> </ul>
	Generador ha perdido su magnetismo residual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desconectar la carga de los consumidores. Cuando el generador esté parado, conectar una batería de 6V o mayor a través de cualquier par de terminales del generador durante uno o dos segundos. Re-arrancar el turbo-generador pero sin la carga de los usuarios.</li> </ul>
Se dispara la protección por sobre-voltaje	Cargas de lastres incorrectamente conectadas (el indicador del lastre marca 100%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buscar conexiones flojas, malhechas o que faltan hacer</li> <li>• Verificar que todos los interruptores que hay en el circuito del lastre están en posición de encendidos.</li> <li>• Confirmar que las resistencias del lastre se están calentando. Sino, medir sus resistencias eléctricas y cambiar si están defectuosas.</li> </ul>
	Voltaje de salida del Generador es más alto que el voltaje nominal del controlador (CGI)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operar la turbina con potencia reducida, o reponer el CGI con uno de mayor voltaje</li> </ul>
	Controlador está dañado y no entrega potencia al lastre (el indicador de lastre no opera, o solo sobre un rango limitado),	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar si la falla se debe a mala conexión del CGI. Sino, reponer la tarjeta del CGI.</li> </ul>
Se enciende la luz de falla del lastre	El lastre está cortocircuitado interna o externamente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chequear la resistencia entre los alambres de conexión de cada lastre y la tierra para detectar cortocircuitos. Reparar o reponer alambrado o resistencias de lastre defectuosos.</li> </ul>
	Carga de lastre demasiado grande	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Confirmar que la capacidad de potencia nominal total de los lastres sea igual o menor que la capacidad nominal del CGI.</li> </ul>
Las luces parpadean	Respuesta de velocidad del controlador incorrecta.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustar la velocidad de respuesta con el potenciómetro ubicado en la tarjeta del CGI.</li> </ul>
	El lastre conectado es mucho mayor que la capacidad nominal del generador.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducir la carga de lastre.</li> </ul>
	Salida de potencia de la turbina desaparece.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chequear la turbina por posible desalineamiento, daño o obstrucción del agua.</li> <li>• Chequear por balineras muy gastadas.</li> </ul>
El interruptor de protección de motor opera	Conexión del generador incorrecta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar las conexiones del generador.</li> </ul>
	Corriente de excitación demasiada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducir la cantidad de capacitancia conectada.</li> </ul>

	alta (interruptor opera aún cuando la salida de potencia de la turbina está reducida)	
	Corriente de excitación demasiada alta (interruptor opera solo cuando la salida de potencia de la turbina está en máximo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar la capacidad del interruptor de protección de motor, y del generador si es necesario.</li> <li>• Operar la turbina con potencia reducida.</li> <li>• Evitar de sobre-cargar el generador</li> </ul>
	Corto-circuito en el sistema de distribución	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aislar sectores del sistema de distribución y buscar hasta encontrar y corregir la falla. Otro método es de medir la resistencia del sistema de distribución por sectores, para ubicar la falla.</li> </ul>
El Detector de Corriente Residual (DCR) opera	Hay corriente fugando a tierra en la casa de máquinas o en otra parte del sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desconectar la carga de los consumidores para definir si la falla está en la casa de máquinas. Si está en la casa de máquinas, verificar el alambrado de todos los dispositivos que tienen conexión a tierra (ej. carcasa del controlador) para ubicar la falla a tierra.</li> <li>• Si la falla está en otra parte del sistema de distribución, desconectar las cargas de los consumidores que tienen puestas a tierra, uno por uno hasta encontrar cual está causando el disparo del DCR</li> <li>• Chequear de la misma manera la posibilidad de fallas a tierra en los pararrayos, desconectandolos uno por uno.</li> </ul>
Una casa particular sin electricidad	Se ha disparado el limitador de carga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desconectar todas las cargas en la casa. Esperar 5 minutos y después reconectar pero con menos carga que antes.</li> </ul>
	Se ha quemado el fusible del limitador de carga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chequear el fusible.</li> </ul>
	Fallas de alambrado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chequear el alambrado de la acometida</li> <li>• Chequear el alambrado de servicio en la casa.</li> </ul>
Un grupo de casas sin electricidad	Fallas de alambrado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buscar falla en la línea de distribución que da servicio a esas casas.</li> </ul>
Todas las casas están sin electricidad (el generador, controlador y lastre funcionando normalmente)	Fallas de alambrado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chequear el alambrado del interruptor principal de servicio a los clientes.</li> <li>• Chequear que no hay roturas en el primer tramo de los cables de la línea de distribución.</li> </ul>

## Notas adicionales sobre la búsqueda de fallas:

### 1. Pérdida de magnetismo residual

Si se dejan las cargas de los consumidores conectadas cuando se para un generador de inducción, es probable que se pierda el magnetismo residual. Este pequeño campo magnético es necesario para permitir que crezcan las corrientes de excitación para que el generador opere a su voltaje nominal. Si la excitación no comienza por sí solo, entonces el voltaje (y la potencia eléctrica) quedarán casi en cero aún cuando la turbina está girando. Si eso ocurre, debe conectarse una fuente de electricidad CD (una batería) a través de cualquier par de terminales antes de arrancar la turbina. Baterías de Plomo-Acido de 6V, 9V o 12V son apropiados para eso, o se pueden utilizar varias baterías de foco de mano conectadas en serie, y se conectan a los terminales del generador durante solamente 1-2 segundos. Nota: Si utiliza baterías de Plomo-Acido, tomar cuidado de no cortocircuitar los terminales de la batería porque podría explotarse!

### 2. Identificación de capacitores dañados

Idealmente se chequea un capacitor con un medidor de capacitancia. Si no tiene este instrumento, la operación de un capacitor se puede verificar con un probador eléctrico que mide resistencia. Medir la resistencia (debería ser alta y aumentarse a medida que el capacitor se carga con la batería interna del probador). Una resistencia baja indica que el capacitor está dañado y deber reponerse con otro.

## 19 ANEXOS

### Anexo A Electricidad Básica

#### Voltaje, Corriente y Potencia

La electricidad es una forma muy conveniente de energía. Puede ser generada en un lugar y después conducida al lugar donde se necesita. Con el "click" de un interruptor se le hace cumplir tareas útiles como hacer luz, calor, o operar motores. La fuerza motriz que hace fluir la electricidad se llama el voltaje. El flujo (caudal) de la electricidad se llama la corriente. La potencia eléctrica es la combinación del voltaje y la corriente. La potencia, que se mide en vatios o kilovatios, se usa para indicar la rapidéz con la cual la energía se está consumiendo.

#### Resistencia

La cantidad de corriente que fluye, depende no solo del voltaje sino también de la resistencia del material por lo cual está pasando. Ciertos materiales tales como el cobre tienen poca resistencia y permiten que la corriente pase fácilmente. Estos materiales se llaman conductores. Otros materiales que tienen alta resistencia al flujo de la electricidad, tales como la mayoría de tipos de plástico, se llaman aislantes.

#### Electricidad CA y CD

Corriente Directa (CD) es el tipo de electricidad que se almacena en una batería. La corriente fluye desde el positivo (+) hacia el negativo (-) cuando la batería se conecta a una carga. Los voltajes de las baterías varían. Por ejemplo pueden ser de 1.5V, 6V, 9V o 12V. Si se conectan dos baterías en una línea (en serie), entonces se duplica el voltaje. Si las dos baterías se conectan en paralelo, entonces la capacidad de cantidad de corriente se duplica. Nunca cortocircuitar los terminales de una batería porque pueden explotar.

El tiempo durante lo cual la batería puede emitir una corriente dada, varía de una batería a otra. Por ejemplo, una batería de sesenta amperio-horas (Ah) podría producir una corriente de un amperio durante sesenta horas, o de veinte amperios durante tres horas. Solamente baterías con voltajes y amperios-horas nominales iguales

deberían de conectarse juntas en el mismo circuito. Para mayor información acerca de tipos de baterías, ver la Sección 13.1

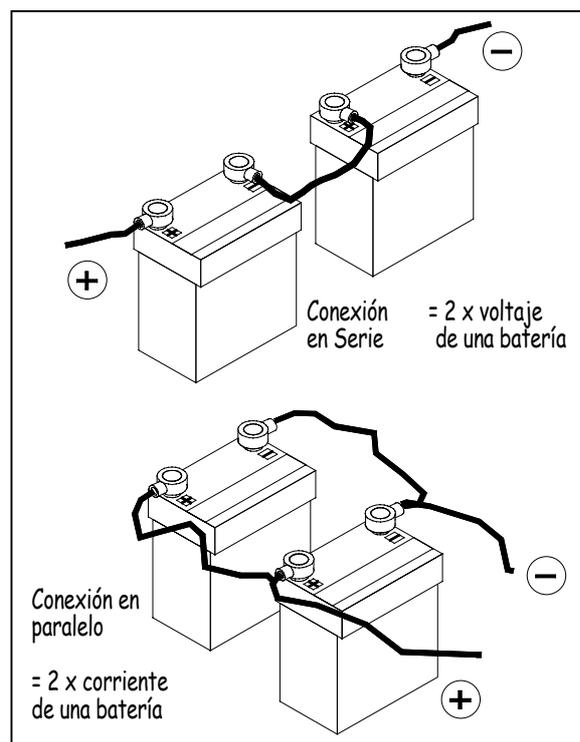


Figura 19-1 Conexión de baterías en serie y en paralelo

Corriente Directa a 12V puede generarse con un alternador de vehículo. Sin embargo la potencia máxima tiene un límite de aproximadamente 500W.

Corriente Alterna (CA) se dice para describir electricidad que repetidas veces se cambia de dirección. La rapidéz con la cual ocurren los cambios de dirección se llama la frecuencia. Generadores de inducción y generadores sincrónicos producen electricidad CA. Una ventaja de la electricidad CA es que la electricidad puede generarse a voltajes muchos mayores, p.e. a 120V o 220V, comparado con los voltajes de un sistema CD que utiliza baterías.

Un voltaje alto generado significa que la corriente requerida para entregar cierta cantidad de potencia, sea menor. Cuando la corriente es menor, las pérdidas en los cables también se ven reducidas. Eso significa que con electricidad CA, se hace posible transportar la electricidad de manera eficiente sobre distancias grandes.

A continuación se compara el suministro de electricidad para cinco bombillos de iluminación de 40 vatios c.u., mediante un sistema de CA y un sistema de CD:

**Sistema de corriente alterna (CA)**

- 1) La potencia requerida por la carga son 200W
- 2) El voltaje es 220V CA

$$I = P/V$$

$$= 200/220$$

$$= 0.91 \text{ Amperios}$$

**Sistema de corriente directa (CD)**

- 1) La potencia requerida por la carga son 200W
- 2) El voltaje es 12V CD

$$I = P/V$$

$$= 200/12$$

$$= 16.7 \text{ Amperios}$$

Corrientes altas provocan pérdidas altas en los cables eléctricos debido a la resistencia de los cables.

**Formas de las ondas CA**

El voltaje CA producido por un generador sincrónico o de inducción, tiene aproximadamente la misma forma que una onda senoidal. Cuando se conecta una carga, la corriente que fluye tendrá una forma similar y tendrá el mismo período (período = tiempo para una onda completa). La frecuencia es la cantidad de ondas completas en un segundo. Por ejemplo, la onda completa ilustrada en la Figura 19-2 se repite 50 veces durante un segundo si la frecuencia es de 50 Hertz.

Si la carga es puramente resistiva (por ejemplo un elemento de calefacción o un bombillo incandescente), entonces la corriente alternará en exactamente el mismo momento que el voltaje. Se dice que la corriente y el voltaje están "en fase".

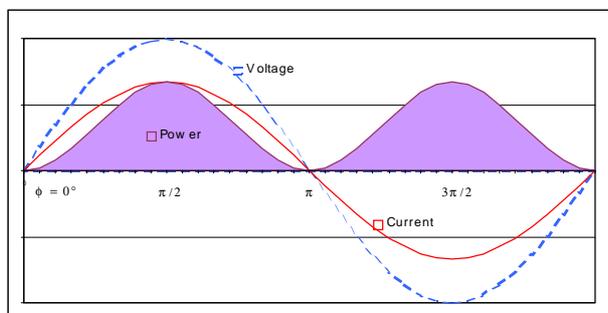


Figura 19-2 La forma de las ondas CA pueden aproximarse como ondas senoidales. Cuando la carga es una resistencia pura, entonces la corriente fluye en fase con el voltaje.

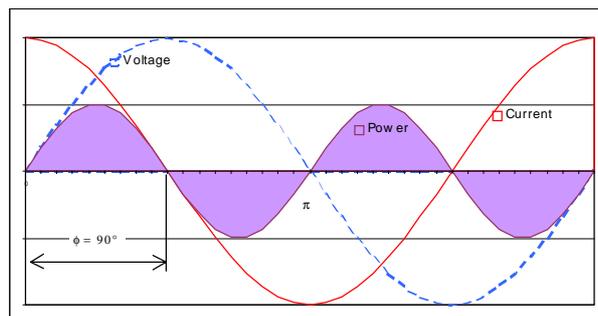


Figura 19-3 Cuando la carga es una capacitancia pura, entonces la corriente se adelanta del voltaje en 90°, y la potencia promedio consumida = 0 vatios.

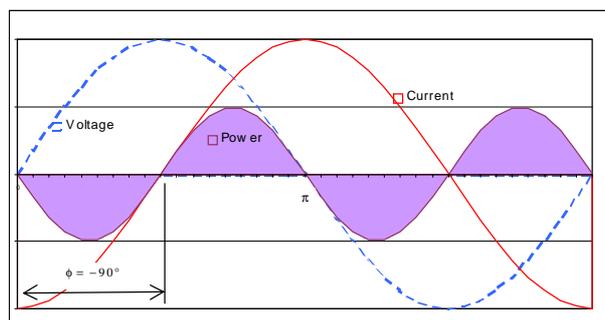


Figura 19-4 Cuando la carga es una inductancia pura, entonces la corriente se retrasa en 90° con respecto al voltaje, y la potencia promedio consumida = 0 vatios.

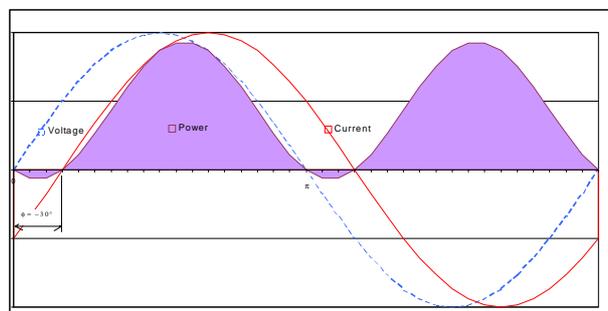


Figura 19-5 En general los circuitos son combinaciones de resistencia, capacitancia e inductancia. En el caso mostrado la corriente está retrasada del voltaje en 30° visto que la carga es resistiva e inductiva. El factor de potencia (cosφ) está cerca de 1 y la cantidad de potencia reactiva consumida es pequeña pero siempre tiene que ser suplido por el generador.

**Potencia Real y Aparente**

La fórmula básica para calcular la potencia es la corriente multiplicada por el voltaje:

19.1 *Potencia (aparente)* =  $I \times V$

Sin embargo, en los circuitos CA éste no es todo el panorama porque es solo la potencia "aparente". Para calcular la corriente real se

tiene que usar otro factor que se llama el Factor de Potencia.

Utilizando el Factor de Potencia (f.p.) se puede calcular la potencia real:

$$\text{Potencia (real)} = V \times I \times \text{Factor de Potencia}$$

La potencia real se mide en vatios (W) y la potencia aparente se mide en Voltio-amperios (VA).

El motivo por esta diferencia es que hay dos tipos de cargas eléctricas; cargas resistivas y cargas reactivas. Con cargas resistivas la corriente está en fase con el voltaje a como se ve en la Figura 19.2 y en este caso el factor de potencia=1 y la potencia real es igual a la potencia aparente. Las cargas reactivas pueden ser inductivas o capacitivas. Cargas puramente reactivas jalan corriente pero no consumen potencia neta a como se demuestra en las Figuras 19-3 y 19-4 visto que durante la mitad del ciclo la potencia disipada es positiva y durante la otra mitad del ciclo la potencia disipada es negativa. En estos casos el factor de potencia=0 y la potencia real=0. La combinación de requerimientos resistivos y reactivos de un circuito en particular se llama la impedancia. Un factor de potencia de corriente avanzada (f.p. > 1.0) indica que la carga es más capacitiva que inductiva. Un factor de potencia de corriente retrasada (f.p.<1.0) indica que la carga es más inductiva que capacitiva.

Cuando el factor de potencia es igual a 1.0, entonces el requerimiento neto para potencia reactiva es cero y solo se tiene que suministrar potencia resistiva. Corrección del factor de Potencia significa ajustar el factor de potencia para que se acerque a 1.0, y de esta manera reducir el consumo de potencia reactiva que no tiene utilidad para nosotros. En la práctica, eso usualmente significa conectar capacitores en paralelo con una carga inductiva para aumentar el factor de potencia.

Visto que la potencia reactiva no aparece indicada en los medidores eléctricos domiciliarios, normalmente no se le cobra a los consumidores su consumo de potencia reactiva. Sin embargo esta potencia reactiva extra tiene que ser suplido por el generador. Entonces para evitar que un

sistema pico hidro se sobre-cargue, la corrección del factor de potencia muchas veces es una consideración de importancia para el desarrollador del proyecto.

Un factor de potencia de 1.0 significa que la carga es puramente resistiva. No se está consumiendo potencia reactiva y la potencia real es igual a la potencia aparente. Si el factor de potencia es menor que 1.0, entonces la carga es parcialmente inductiva. Factores de potencia de unas cargas típicas se demuestra en la siguiente tabla:

Carga	Factor de Potencia
Bombillo incandescente	1.0
Lámpara flourescente	0.5 - 0.7
Motores	0.2 - 0.95

Tabla 19-1 Factores de potencia de unas cargas comunes

### Triángulo de Potencia

Las relaciones entre la potencia real, la potencia aparente, y el factor de potencia se pueden resumir en el "triángulo de potencia."

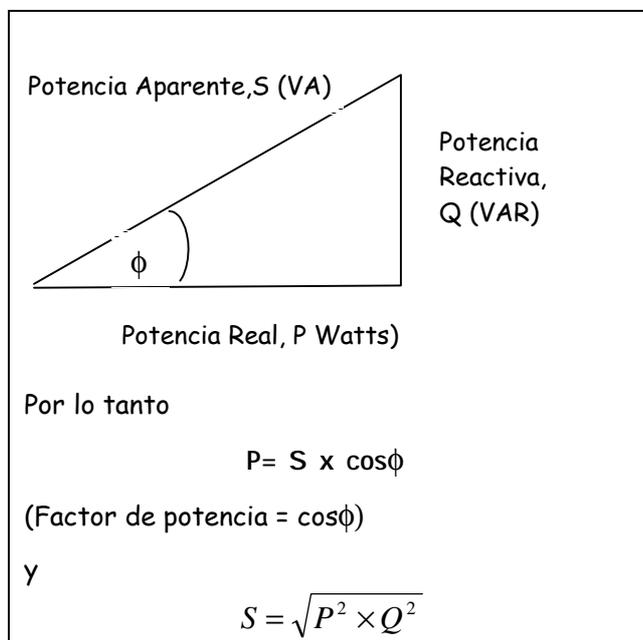


Figura 19-6 Triángulo de Potencia, demostrando la relación entre la potencia real y la potencia aparente.

### Corrección del Factor de Potencia

Circuitos que tienen un factor de potencia de corriente retrasada causado por cargas inductivas (ver Figura 19-4) tales como motores eléctricos y lámparas fluorescentes, requieren un suministro de potencia reactiva. Para cargas pequeñas conectadas a la red eléctrica, eso no presenta mucho problema visto que la potencia reactiva fácilmente se supe. Sin embargo, para sistemas aislados de generadores de inducción, el caso puede ser distinto. A veces es necesario corregir el factor de potencia para permitir el aprovechamiento eficiente de la potencia disponible.

El término "corrección del factor de potencia" significa aumentar el factor de potencia de corriente retrasada hacia el valor de 1.0 para que la cantidad de potencia reactiva requerida por las cargas se reduzca (ver Figura 19-5). Eso se logra conectando capacitores a través de la carga. La capacitancia hace que la corriente se adelanta en vez de retrasarse con respecto al voltaje. Eso se puede entender si se compara la Figura 19.3 con la Figura 19.4. El resultado neto es que el requerimiento total por la potencia reactiva se reduce. Otras consideraciones son la disponibilidad y costos de capacitores apropiados y la selección de la cantidad a conectar. Estas consideraciones pueden afectar el grado de corrección del factor de potencia que se puede lograr. Es importante evitar de "sobre-correr" el factor de potencia. El procedimiento para la selección de capacitores para corrección de factor de potencia se explica en la Sección 13.1.

**Anexo C Velocidad de Operación de la Turbina cuando tiene Cargas Mecánicas Conectadas**

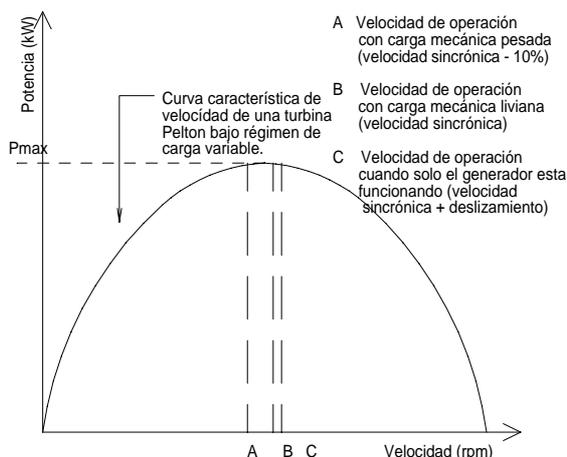


Figura 19-1 Velocidades óptimos de operación para turbinas Pelton bajo diferentes condiciones de carga

Si se selecciona con cuidado la velocidad de operación de la turbina cuando mueve cargas mecánicas, es posible que el generador de inducción funcione como freno para la carga mecánica, regulando la velocidad. Eso reduce desgaste de las balineras y otras partes del equipo mecánico y tiene ventajas para procesos como la molienda de granos, produce una harina más fina. La potencia excedente, no requerido por la carga mecánica en dado momento, estará disipada en el generador o en el lastre, impidiendo de esta manera el sobre-giro de la carga y la turbina.

La velocidad de operación de un generador de inducción usualmente es la velocidad sincrónica +3%. Esta es la velocidad a la cual entrega potencia eléctrica al controlador y a los consumidores. A una velocidad aproximadamente 10% por debajo de la velocidad sincrónica, no hay generación de electricidad por falta de excitación.

El uso de un controlador de generador de inducción regula la velocidad de la turbina bajo cargas tanto eléctricas como mecánicas. Cuando la carga mecánica se disminuye causando un aumento en la velocidad de giro de la turbina, el controlador comienza a dirigir la potencia excedente hacia el lastre. Eso aumenta la carga sobre la turbina y de esta manera regula su velocidad. El resultado es similar al efecto de un freno mecánico.

Entonces ¿ qué velocidad de giro del eje de la turbina se debería escoger para diseñar un sistema

de transmisión por poleas y bandas para mover una carga mecánica ?

Como valor inicial, usar la velocidad sincrónica del motor de inducción. Eso será un poco menor que la velocidad de operación cuando el generador esté moviendo las cargas eléctricas (velocidad sincrónica + 3% deslizamiento). Entonces bajo condiciones de operación normal de la carga mecánica, el generador no estará generando electricidad, pero la turbina siempre estará entregando su potencia máxima. Las velocidades sincronicas de máquinas de inducción de 50 Hz, de 2 polos (3000rpm), 4 polos (1500rpm) y 6 polos (1000rpm) aparecen en las tablas detallando "Potencia por cada Banda" (Tabla 13-5 y 13-6).

**Anexo D : Notas Adicionales sobre la Selección de Bandas de Transmisión**

Las instrucciones dadas en las Secciones 13.5 y 13.6 son suficientes para hacer coincidir las poleas y bandas con la carga a mover. Sin embargo, a continuación detallamos dos factores adicionales a tomar en cuenta.

- 1) Bandas largas pueden transmitir más potencia que bandas cortas.
- 2) Una relación de diámetros de poleas que sirve para reducir la velocidad (es decir, una polea pequeña que mueve una polea más grande) es capaz de entregar más potencia que una transmisión que tiene dos poleas del mismo tamaño.

Relación de diámetros de las dos poleas	SPZ	SPA	SPB
1:1	>550	>760	>1050
2:1	>600	>850	>1150
3:1	>600	>850	>1200
4:1	>650	>900	>1260
5:1	>650	>950	>1260

Tabla 19-2 Anexar 5% a la potencia transmitida por cada banda, cuando la Distancia entre Centros de los ejes sea mayor que los valores indicados en esta tabla (distancias dadas en milímetros).

La banda puede seleccionarse con mayor precisión cuando se utilizan las Tabla 19-2 y Tabla 19-3. Para una banda que sea más larga que los valores indicados en la Tabla 19-2 (longitudes dadas en mm), se puede anexar 5% a la potencia transmitida por cada banda. Por ejemplo, si se va a utilizar una banda SPZ en una transmisión por poleas que tiene

una relación de diámetros de poleas de hasta 2:1, la potencia por cada banda puede aumentarse en 5% cuando la distancia entre centros de los ejes sea mayor de 600 mm.

velocidad (rpm) del eje de la turbina	SPZ	SPA	SPB
1000	0.15	0.39	0.81
1500	0.23	0.58	1.21
3000	0.46	1.17	2.42

Tabla 19-3 Kilovatios adicionales permisibles cuando la relación de diámetros es mayor de 1.95:1 y la polea de la turbina sea más pequeña que la polea de la carga.

Cuando la relación entre diámetros de las poleas es mayor de (1.95:1), la potencia por banda puede ser aumentado en las cantidades indicadas en la Tabla 19-3. Por ejemplo, si se selecciona una banda SPA y la velocidad de la turbina está cerca de 1500 rpm, la potencia que la banda puede entregar se aumenta en 0.58 kW cuando la relación de diámetros es igual o mayor de 1.95 : 1.

---

## 20 REFERENCIAS Y DIRECCIONES

### Referencias:

1. Harvey, A. et al. 'Micro Hydro Design Manual,' Intermediate Technology Publications, 1993.
2. Inversin, A. 'Mini Grid Design Manual,' ESMAP, World Bank, 2000.

### Dirección de Redacción

Micro Hydro Research Group  
Department of Electrical and Electronic Engineering  
The Nottingham Trent University  
Burton Street  
Nottingham  
NG7 4BU

Tel. +44 (0) 115 848 2885  
Fax: +44 (0) 115 948 6567  
Email: [phillip.maher@ntu.ac.uk](mailto:phillip.maher@ntu.ac.uk)  
Web: <http://eee.ntu.ac.uk/research/microhydro/picosite>

### Intermediate Technology Publications

103-105 Southampton Row  
London WC1B 4HH

Tel: +44(0) 171 436 9761  
Fax: +44(0) 171 436 2013  
Email: [orders@itpubs.org.uk](mailto:orders@itpubs.org.uk)  
Web: <http://www.oneworld.org/itdg/publications.html>

### ESMAP

Mini-Grid Design Manual  
C/o Energy, Mining and Telecommunications Department  
The World Bank  
1818H Street, NW  
Washington, DC 20433  
U.S.A.  
Email: [esmap@worldbank.org](mailto:esmap@worldbank.org)

---

## 21 GLOSARIO

<b>Alambrado domiciliario</b>	el sistema eléctrico interno de una casa
<b>Almacenamiento de energía</b>	se puede requerir de almacenamiento de energía si el caudal del agua no sea suficiente durante todo el año. Dos ejemplos de maneras de almacenar energía son los reservorios y las baterías.
<b>Altímetro</b>	un aparato que utiliza la presión del aire para calcular la diferencia en elevación entre dos puntos
<b>Balde (método)</b>	un método de medición de caudal usando un balde de volumen conocido y un reloj cronómetro
<b>Banda (transmisión)</b>	un sistema para transmitir potencia mecánica giratoria desde un eje a otro, usando poleas y bandas
<b>Batería</b>	usado para almacenar electricidad; baterías recargables (p.e. Plomo-Acido o Niquel-Cadmio) pueden usarse para iluminar casas que están demasiado distantes del generador para conectarse a la red de distribución
<b>Bombillo incandescente</b>	una lámpara sencilla con un filamento de alambre que se calienta y emite luz
<b>CA</b>	corriente alterna; corriente eléctrica que cambia de dirección a intervalos frecuentes, por ejemplo a 50 Hz o 50 veces por segundo
<b>Caída de voltaje</b>	pérdida de voltaje a través del sistema de distribución debido a la resistencia de los cables; una caída de voltaje de $\pm 6\%$ es aceptable
<b>Cámara de carga</b>	estructura que a veces se construye al comienzo de la tubería forzada (cuestas arriba) para asegurar una suficiente profundidad del agua que entra a la tubería forzada
<b>Canal</b>	puede ser un método práctico y de bajo costo en ciertas áreas rurales para conducir el agua hasta la cámara de presión y de esta manera reducir la longitud de la tubería forzada
<b>Capacitor</b>	dispositivo electrónico que permite el uso de motores de inducción como generadores; también se ocupa para la corrección del factor de potencia; la capacitancia se mide en micro Faradios ( $\mu\text{F}$ )
<b>Carga</b>	cualquier dispositivo que consume la potencia producida por el generador (o por la turbina)
<b>Casa de máquinas</b>	el edificio que contiene la turbina, el generador y cualquier maquinaria de cargas mecánicas que se mueven con la turbina
<b>Caudal</b>	medición de la cantidad de agua que fluye por un punto durante un segundo; se mide en metros cúbicos por segundo o en litros por segundo, y se usa para calcular la potencia hidráulica
<b>CD</b>	corriente directa; corriente eléctrica que fluye en una sola dirección
<b>CGI</b>	Controlador de Generador de Inducción - un aparato electrónico que sirve para mantener estables el voltaje y la frecuencia
<b>clinómetro Abney</b>	un aparato que se utiliza para medir la inclinación del terreno. puede usarse para calcular el desnivel
<b>Controlador de carga</b>	un sistema para mantener constante la carga sobre el generador
<b>Corrección de factor de potencia</b>	la reducción de los requerimientos de potencia reactiva de las cargas tales como motores de inducción e iluminación fluorescente; se realiza la corrección del factor de potencia con la conexión de capacitores de valores calculados, a través de las líneas de suministro de la electricidad
<b>Corriente</b>	el "caudal" de electrones que fluyen por un circuito eléctrico; se mide en Amperios
<b>DCR</b>	Dispositivo de Corriente Residual; se utiliza para desconectar el suministro de electricidad en caso de fallas a tierra

---

<b>Demanda (encuesta)</b>	Una encuesta para valorizar los requerimientos de potencia y la capacidad de pago de una comunidad
<b>Desnivel</b>	la caída vertical del agua en la tubería forzada; se mide en metros de altura
<b>Disparo por sobre-voltaje</b>	un circuito integrado en el CGI que automáticamente desconecta el suministro de electricidad para proteger las cargas de los consumidores en caso que el voltaje sube demasiado
<b>Distribución (poste)</b>	poste que sostiene los cables del sistema de distribución
<b>Distribución (sistema)</b>	un sistema de cables que conecta las casas al generador
<b>Dp</b>	diámetro primitivo; el diámetro alrededor de una turbina Pelton al centro del impacto del chorro de agua
<b>Eficiencia</b>	esta palabra refiere a qué tan bueno es la conversión de la potencia de una forma a otra; es la relación entre la potencia que se saca dividido por la potencia entrante, expresada como un porcentaje; la eficiencia de un sistema pico hidro usualmente es de aproximadamente el 45%.
<b>Falla a tierra</b>	un desperfecto en un sistema de cables o alambres que permite fuga de la electricidad a la tierra
<b>Frecuencia</b>	el cambio de dirección para adelante y para atrás de la corriente eléctrica; se mide en Hertz (ciclos por segundo)
<b>Fusible</b>	un dispositivo para seguridad lo cual impide daño a los circuitos o aparatos causados por cortocircuitos o sobre-carga
<b>Generador de inducción</b>	fuentes de electricidad CA
<b>Iluminación de emergencia</b>	una lámpara de tubo, con batería recargable, que puede usarse cuando falle la fuente normal de electricidad
<b>Interruptor de Protección de Motor</b>	dispositivo de seguridad que dispara y desconecta la carga en caso que se esté jalando demasiado corriente; al contrario del MCB, que solo puede trabajar a un nivel de corriente predeterminada, la corriente de disparo del IPM puede ser ajustada a cualquier amperaje dentro de su rango, p.e. de 6-10 amperios.
<b>Lastre</b>	usualmente un elemento de calefacción que consume la potencia producida por el generador y que no está requerida por los consumidores
<b>LFC</b>	Lámpara Fluorescente Compacta; un dispositivo para iluminación más eficiente en el consumo de electricidad que otros tipos de bombillos o lámparas
<b>Limitador de carga</b>	un dispositivo que impide que un consumidor jale demasiado corriente
<b>MCB</b>	Miniature Circuit Breaker (un interruptor automático miniatura); es una alternativa en vez del fusible para proteger circuitos y equipos, y tiene la ventaja que puede ser reactivado después de dispararse por un cortocircuito o sobre-carga
<b>Medidor</b>	dispositivo que demuestra el nivel de voltaje del generador o la carga consumida en el lastre
<b>Motor de inducción</b>	máquina eléctrica que puede usarse para mover cargas mecánicas
<b>Obra de toma</b>	el lugar donde el agua entra a la tubería forzada
<b>Paquete de iluminación</b>	un suministro de electricidad apropiado para alimentar a una lámpara, y posiblemente un radio
<b>Pararrayos</b>	un dispositivo que permite la conducción a tierra de oleadas de voltaje causado por golpes de rayos
<b>Peltric Set</b>	un diseño de unidad turbo-generador para sistemas pico hidro, popular en Nepal

<b>Pico hidro</b>	sistemas de potencia hidráulica con generación eléctrica máxima de 5 kW
<b>Potencia</b>	medición de energía suplida y demandada; se expresa en vatios (W) o en Kilovatios (kW); tiene distintas formas como la potencia hidráulica, potencia mecánica, y potencia eléctrica.
<b>PTC</b>	Positive Temperature Coefficient Thermistor (termistor de coeficiente de temperatura positiva); un dispositivo electrónico que se puede utilizar como limitador de carga de bajo costo
<b>Reservorio</b>	almacenamiento de energía en pequeña escala; a veces se utiliza cuando los caudales en temporada seca son insuficientes; recoge agua durante el día para que la turbina pueda funcionar para proveer iluminación en la noche
<b>Resistencia</b>	propiedad de los materiales relacionado con su capacidad de conducir corriente eléctrica, p.e. el plástico tiene alta resistencia y se le dice "aislante" mientras que el cobre tiene baja resistencia y se le dice "conductor"; la resistencia se mide en Ohmios ( $\Omega$ )
<b>Sistema aislado</b>	sistema eléctrico no conectado a las redes nacionales
<b>Tobera de la turbina</b>	restringe el flujo del agua al final de la tubería forzada y produce un chorro de agua a alta velocidad
<b>Trago de sal</b>	método para medir caudal; se derrama agua salada en el agua y se mide las variaciones de la conductividad del agua
<b>Transformador</b>	dispositivo que permite cambiar el voltaje de u circuito CA hacia arriba o hacia abajo en una relación fija (p.e. 240V a 12V); a veces se transforma el voltaje de distribución para que casas que distan más de un kilómetro del generador pueden conectarse al sistema; el voltaje más alto reduce las pérdidas en los cables
<b>Tubería de baja presión</b>	puede usarse como una alternativa económica en vez de un canal, para conducir agua desde la captación hacia la boca de la tubería forzada
<b>Tubería forzada</b>	tubería que contiene agua a presión; conduce el agua desde la cámara de presión hasta la turbina
<b>Turbina Pelton</b>	una rueda con cucharas alrededor de la perifería que absorben la potencia de una chorro de agua y la convierte en potencia mecánica giratoria; la mayoría de las turbinas Pelton requieren un desnivel de 20 metros o más para lograr buena eficiencia
<b>Válvula</b>	dispositivo usado para regular el flujo de agua en la tubería forzada; se prefiere una válvula de gaveta
<b>Voltaje</b>	la cualidad de "presión eléctrica" requerida para que la corriente fluya en un circuito; se mide en voltios (V)

---

## 22 INDICE

- Abney (Clinómetro), 7-1, 7-3
- Agua, fuentes de, 2-1, 5-3, 6-2, 11-1, 14-1
- Alambrado domiciliario, 15-1
- Almacenamiento de energía, 6-3, 10-6, 13-4
- Baterías, 5-4, 9-3
- Cámara de carga, 2-1, 6-2, 7-1, 7-2, 10-5, 11-2
- Canales, 6-3, 10-1, 10-2, 10-4
- Capacitancia
  - excitación, 9-3
  - corrección de factor de potencia, 13-2, 13-3, 13-4
- Captación, diseño, 10-1
- Cargas
  - del consumidor, 2-3, 14-10
  - eléctricas, 2-2, 2-3, 9-1, 9-2, 13-1, 13-4, 13-7, 14-8
  - mecánicas, 2-3, 9-9, 12-3, 13-1, 13-7, 13-8, 13-12
- Casa de máquinas, 12-1
- Caudal, medición de, 7-1, 7-4, 7-9
- CGI, instalación, 9-11
- Controlador de carga, 9-1, 9-5
- Controlador de generador de inducción (CGI), 9-5
- Corriente, 8-2, 9-1, 9-8, 13-3, 14-8, 14-9, 14-10, 15-3, 18-2
- Desnivel, 7-1, 7-2
- Diámetro primitivo,  $D_p$ , 8-3
- Diseños preliminares, esquemas, 6-1
- Dispositivo de corriente residual (RCD), 9-1, 9-2, 9-9, 9-10, 15-1, 15-2, 17-1, 18-1, 18-2
- Distribución
  - acometidas, 14-7
  - cable, 14-1, 14-3
  - esquemas, 14-2
  - postes, 14-1, 14-4
- Distribución, sistema de, 2-3, 14-1
- Eficiencia, 2-2
- Factor de potencia, corrección, 13-2, 13-3, 13-4
- Fallas a tierra (protección contra), 9-1
- Filtros, tubería forzada, 10-2
- Frecuencia, 9-5, 9-7, 17-2
- Fusibles, 15-3, 15-4
- Generadores de inducción, 1-1, 9-3, 9-5, 9-7, 14-12
- Iluminación
  - flourescente compacto, 13-2, 13-4
  - de emergencia, 13-5
  - incandescente, 13-1, 13-4
  - paquetes de, 5-2
  - de tubo, 7-2, 13-1
- Lastre, (calefacción), 9-5
- Levantamientos y encuestas
  - de la demanda, 5-1
  - del sitio, 7-1
- Limitador de carga, 15-3
- Medidores (indicadores)
  - del lastre, 9-6
  - voltímetro, 9-6
- Miniature Circuit Breaker (MCB), 9-8, 9-9, 13-6, 14-3, 14-7, 14-13, 15-3, 17-1, 18-1
- Motores de inducción, 1-1, 8-1, 9-3, 9-8, 9-9, 13-6, 13-7, 13-9, 14-12
- Pararrayos, 9-9, 12-3, 18-2
- Peltric Set, 8-1, 8-2
- Pico hidro, 1-1, 2-1, 2-2, 4-1, 5-4, 8-1, 8-2, 9-3
- Positive temperature coefficient thermistor (PTC), 15-3
- Potencia
  - eléctrica, 2-2, 2-3, 4-1, 9-8, 9-9, 14-11
  - hidráulica, 2-2, 2-3, 8-3, 9-8
  - mecánica, 2-2, 2-3, 4-1, 8-2, 8-3, 10-7, 13-7, 13-8, 14-11
- Reservorios, 2-1, 6-3, 10-1, 10-2, 10-6, 10-7, 12-3
- Seguridad, 9-1
- Sobre-voltaje, disparo, 9-6, 18-1
- Tobera de la turbina, 2-1, 2-2, 8-2, 8-3, 9-5, 10-2, 11-1, 11-2, 11-3, 17-1, 18-1
- Trago de sal, método, 7-4, 7-7
- Turbina pelton, 1-1
- Tuberías
  - de drenaje, 6-3, 10-4, 10-5
  - de limpieza de sedimentos, 10-6, 11-2
- Tubería forzada
  - diámetro, 11-1
  - materiales, 11-2
  - presión nominal, 11-1
- Voltaje, 9-5, 13-3, 14-3, 14-9, 14-10, 14-12
- Voltaje, caída de, 14-8, 14-11