

13 SELECCION DE LAS CARGAS

- 13.1 Cargas eléctricas
- 13.2 Cargas movidas por motores
- 13.3 Como Evitar Problemas con el Arranque de Motores
- 13.4 Usos Mecánicos
- 13.5 Poleas y Bandas de transmisión
- 13.6 Procedimiento para la Selección de Poleas y Bandas
- 13.7 Tensión de las bandas, y accesorios de montaje

Las **CARGAS** son los dispositivos que se conectan al sistema pico hidro y que operan como resultado de la potencia generada por la turbina. Pueden distinguirse entre cargas eléctricas y cargas mecánicas.

13.1 Cargas eléctricas

Las cargas eléctricas utilizan la electricidad producida por el generador. Gran variedad de cargas eléctricas pueden funcionar con el sistema pico hidro. Algunas cargas eléctricas comunes aparecen en la lista abajo. Están divididas en dos grupos: las que utilizan motores y las que no utilizan motores. Hay ciertas consideraciones especiales cuando se conectan al sistema pico hidro cargas movidas por motores, Ver explicaciones detalles en la Section 13.2.

Cargas no-movidas por motores, por ejemplo:

- Iluminación
- Cargadores de baterías
- Radios
- Televisores

Cargas movidas por motores, por ejemplo:

- Procesadores de alimentos y licuadoras
- Refrigeradoras
- Abanicos para Ventilación
- Herramientas de taller (esmeriles, taladros, sierras, cepilladoras, lijadoras)

El tipo y la cantidad de cargas eléctricas que pueden conectarse depende de la cantidad de electricidad que se está generando. Los siguientes incisos explican en detalle las consideraciones técnicas pertinentes a cada tipo de carga eléctrica.

Iluminación

En muchos proyectos, la iluminación es el uso principal de la electricidad que se genera en el sistema pico hidro. El suministro de iluminación eléctrica en una comunidad rural puede mejorar sensiblemente la calidad de vida. Existe tres tipos de iluminación comunamente usados para alumbrado domiciliario.

Bombillos Incandescentes. Los bombillos de este tipo tienen un filamento de alambre que se calienta y emite luz cuando pase por él una cantidad apropiada de corriente eléctrica.

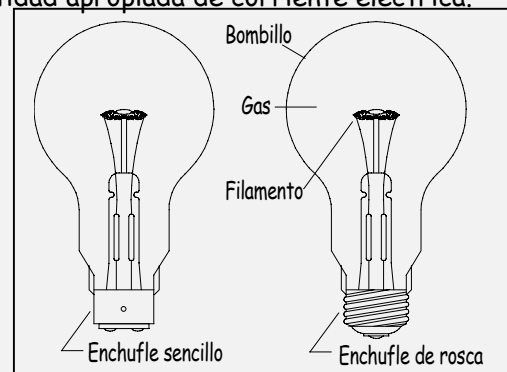


Figura 13-1 Bombillos incandescentes

Se utilizan comunamente los bombillos incandescentes porque son baratos y ampliamente disponibles en el comercio. Sin embargo, tienen relativamente corta vida, y no hacen uso eficiente de la electricidad. El problema es que solo convierten aproximadamente el 8 al 12 % de la energía eléctrica en luz. El resto escapa en forma de calor. Hay algunas aplicaciones donde se aprovecha este calor, por ejemplo en granjas de pollos, pero en la mayoría de los casos los bombillos de este tipo son muy ineficiente en cuanto al uso de la electricidad generada. El ciclo repetido de calentar y enfriar, eventualmente hace que el filamento se queme y entonces hay que cambiar el bombillo.

Tubos Fluorescentes. Este tipo de lámpara tiene electrodos en cada extremo de un tubo. Los electrodos sueltan partículas muy pequeñas llamadas "electrones" los cuales causan la emisión de luz ultravioleta del gas argón que está dentro del tubo. La luz UV es convertida en luz visible por una capa de pintura fluorescente que reviste la superficie interna del vidrio del tubo.

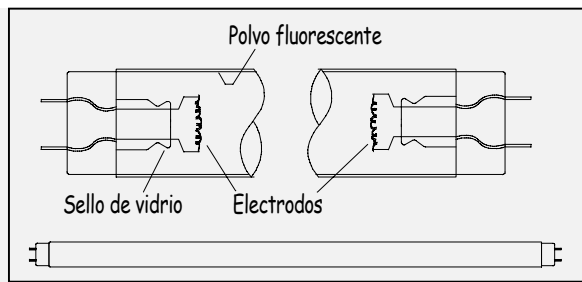
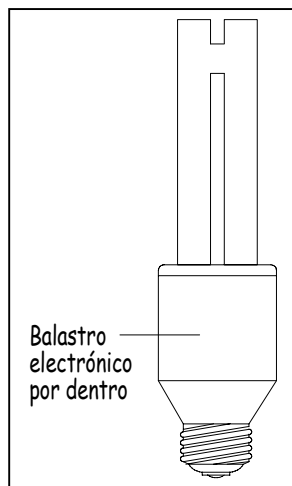


Figura 13-2 Lámparas tubulares fluorescentes

Las lámparas tubulares fluorescentes requieren de un circuito eléctrico incluyendo un balastro ("estart") para controlar la corriente eléctrica que fluye por la lámpara y proveer un voltaje alto en los electrodos. Anteriormente se usaba un balastro inductivo (hecho de un embobinado de alambre sobre un núcleo de hierro). Hoy en día se utilizan balastros electrónicos. Los balastros electrónicos pueden operar a frecuencias mayores, y eso ayuda en mejorar el comportamiento de la lámpara y extender su vida útil.

Lámparas Fluorescentes Compactos (LFCs)-
Estos han sido desarrollados recientemente y ya están disponibles en muchos lugares. Trabajan bajo el mismo principio de los tubos fluorescentes, con la diferencia que el tubo es de menor diámetro y está doblado.



Usualmente el balastro electrónico o inductivo está integrado en la base de la lámpara. El diseño permite que esta lámpara se instale en un cepo (portalámpara) convencional, sea de enchufe (BS) o de rosca (ES). Usualmente se puede detectar si el balastro es del tipo inductivo, porque la lámpara es más pesada.

Confiabilidad de las Lámparas Fluorescentes
Los circuitos electrónicos que tienen las lámparas fluorescentes, las hacen sensibles a la calidad de la electricidad. Si el voltaje y la frecuencia varían demasiado, estas lámparas tendrán una vida útil reducida. De otra manera la vida útil debe ser de 5 a 10 veces mayor que del bombillo

incandescente. Por lo tanto, es importante que el voltaje y la frecuencia se mantengan cerca a sus valores nominales.

Los valores nominales de voltaje y frecuencia son los valores para los cuales el artefacto ha sido diseñado. Esta información está inscrita en el lado de la lámpara o bombillo.

La vida del balastro (y por ende de la lámpara visto que en las lámparas LFC el balastro no puede reponerse por separado) se verá recortada si la frecuencia sea menor que el valor nominal (50 o 60 Hz) o si el voltaje sea mayor que su valor nominal (110V, 120V, 220V etc.). Ambas condiciones harán que pase más corriente eléctrica por la lámpara, por lo que recortan la vida de los embobinados o circuitos debido al recalentamiento. Se pueden tolerar pequeños aumentos en la frecuencia o reducciones en el voltaje sin que éstos causan daños.

La vida útil de las LFCs y tubos fluorescentes también se verá recortada si se les apaga y enciende muchas veces. Eso las hace inaptas para uso en lugares donde se requiere la luz por períodos cortos, por ejemplos en chineros o servicios sanitarios.

Factor de Corrección de Potencia para Lámparas Fluorescentes.

El término "factor de potencia" se explica en el Anexo "A" sobre Electricidad. La corrección del factor de potencia quiere decir el ajuste del factor de potencia para que se acerque al valor 1.0. El factor de potencia para bombillas incandescentes ya tiene el valor de unidad, por lo cual los bombillos no requieren de corrección del factor de potencia. Para lámparas fluorescentes que contienen balastros inductivos, el factor de potencia puede ser tan bajo como 0.5. Eso incide en dos maneras en un sistema que tiene muchas lámparas (50+) conectadas:

1. Se aumentan las pérdidas en los cables debido a las grandes cantidades de potencia reactiva que circula por el sistema.
2. Un valor bajo del factor de potencia provoca un aumento en la frecuencia del generador, lo cual puede hacer que se pierda la excitación en los embobinados de un generador

de inducción. Eso a su vez hará que el generador deje de funcionar hasta cuando se desconecten algunas de las lámparas.

El factor de potencia puede ser mejorado mediante la conexión de capacitores a través de las cargas inductivas. La cantidad de capacitancia requerida depende de la cantidad de lámparas fluorescentes que están en servicio. Lo ideal es que cada casa que tiene lámparas fluorescentes tenga sus propios capacitores. Los capacitores de mayor capacidad cuestan menos por micro-faradio (μF) que los capacitores más pequeños, por lo cual conviene corregir el factor de potencia de todas las lámparas de una casa con un solo capacitor. Capacitores para iluminación hechos de polipropileno metalizado, que se pueden comprar en capacidades de $4\mu\text{F}$ son ideales para la corrección del factor de potencia de pequeñas cargas de iluminación fluorescente.

Es difícil estimar el tamaño de las cargas inductivas que habrán en un sistema antes de haber construido el sistema. Sin embargo se deberá estimar la cantidad aproximada de corrección de factor de potencia que se requerirá, durante la fase inicial de planificación del proyecto, e incluir los costos en el presupuesto del proyecto.



Figura 13-3
Capacitores de Polipropileno Metalizado para la corrección de factor de potencia de lámparas fluorescentes

Ejemplo : Capacitancia requerida para corrección de factor de potencia de cargas inductivas

Un sistema pico hidro tiene 100 casas conectadas a un generador de 2.5 kW. En cada casa hay un tubo fluorescente de 20 W. El factor de potencia de estos tubos fluorescentes (según la información del fabricante) es 0.5. Si el sistema opera a 220V y 50 Hz :

a) ¿De cuánto es la capacitancia que se debería conectar a cada tubo fluorescente para corregir el factor de potencia a un valor de 1?

b) Si los capacitores son sustancialmente más baratos cuando se compran por unidades más grandes, y si cada casa tiene cuatro tubos fluorescentes de 20W, ¿qué tamaño de capacitor debería seleccionarse para la corrección del circuito entero de iluminación?

a) Cuanta corriente utiliza cada tubo fluorescente?

$$I = \frac{\text{Power}}{V \times \cos \phi}$$

$$I = \frac{20}{220 \times 0.5} = 0.182A$$

¿Qué capacitancia se requiere para corregir el factor de potencia, dado este valor de corriente?

$$C = \frac{I \times \sin \phi}{6.3 \times V \times f}$$

C = Capacitancia requerida (Farads)

I = Corriente nominal del artefacto (Amperios)

$\cos \phi$ = Factor de potencia

V = voltaje nominal (Voltios)

f = frecuencia (Hertz)

$$C = \frac{0.182 \times 0.87}{6.3 \times 220 \times 50} = 2.27 \mu\text{F}$$

Para corregir el factor de potencia de esta lámpara fluorescente, un capacitor de 2 micro-Faradios (μF) debería conectarse entre el vivo y el neutro de la alimentación al artefacto. Cuando el valor exacto de capacitancia no está disponible, es mejor utilizar un capacitor de menor capacidad, y no sobrepasar el valor exacto (ver nota.)

b) Para corregir el factor de potencia de las cuatro lámparas que tiene cada casa, la capacitancia requerida es
 $4 \times 2.27 = 9.08 \mu\text{F}$.

La mejor solución en este caso sería conectar dos capacitores de $4\mu\text{F}$ c.u. en paralelo a través de la alimentación a una de las lámparas. Si hay disponible solo uno o dos tamaños de capacitores, entonces conectar el número apropiado de lámparas para llevar el factor de potencia a 1. Los capacitores siempre se conectan directamente a través de la alimentación de la carga inductiva, de otra manera habrá demasiada capacitancia conectada cuando otras lámparas estén apagadas. Nota: No se deberá nunca "sobre-corregir" el factor de potencia. Hacer esto reduciría la frecuencia de la alimentación y aumentaría la corriente en la red del alambreado del sistema.

El voltaje nominal de los capacitores debe ser por lo menos igual al de las cargas a las cuales se conectan. Capacitores de voltajes nominales mayores que las cargas tendrán mayor vida útil. Pero para cargas pequeñas como las lámparas, que se utilizan de manera intermitente y por períodos cortos, es mejor instalar capacitores del mismo voltaje nominal que la lámpara (p.e. 220V) visto que éstas son la opción más barata. Para la corrección del factor de potencia de cargas mayores, como los motores, valdrá comprar capacitores con voltajes nominales más altos. Por ejemplo, para un motor de 220V sería bueno instalar capacitores que tengan un voltaje nominal de 415V. Las ventajas y desventajas de los tres tipos de iluminación se comparan en la Tabla 13-1.

Voltaje Nominal de los Capacitores

El precio de los capacitores varía no solo con su capacitancia (es decir la cantidad de microfaradios) sino que también con su voltaje nominal.

	Ventajas	Desventajas
Bombillos Incandescentes	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bajo costo. Ampliamente disponible y fáciles de reponer ✓ No se dañan por bajo voltaje ✓ Factor de potencia = 1 	<ul style="list-style-type: none"> × Baja eficiencia, pero cuando el voltaje esté bajo. Por lo tanto no son la mejor opción cuando la potencia esté limitada × Vida útil corta (750-1000 horas)
Tubos Flourescentes (tipo común)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Costo relativamente bajo. ✓ Ampliamente disponibles ✓ Buena eficiencia, buena opción para electrificación de aldeas con pico hidro ✓ Vida útil larga (5000-8000 hours) 	<ul style="list-style-type: none"> × Requieren portalámpara especial (eso a veces puede ser una ventaja, ver abajo*) × Más grandes que otras lámparas (LCF) de la misma potencia. × Cuando se descartan, hay que tomar cuidado por el vapor de mercurio que contienen. × Se requiere un balastro aparte. Balastro requiere reposición periódicamente igual que el tubo. × Puede requerir corrección del factor de potencia. × No apropiado donde se enciende y apaga con frecuencia.
Lámparas Flourescentes Compactas (LFCs)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Muy buena eficiencia. Una buena opción para electrificación de aldeas con pico hidro. ✓ Funcionan en portalámparas convencionales ✓ El balastro usualmente está integrado. ✓ Vida útil muy larga (8000-10000 hours) 	<ul style="list-style-type: none"> × Costo inicial más alto que los otros tipos, aunque los precios actualmente van disminuyendo. × Más sensibles que los otros tipos a variaciones de voltaje y frecuencia que puede afectar la vida útil. × Cuando se descartan, hay que tomar cuidado por el vapor de mercurio que contienen × Puede requerir corrección del factor de potencia × No apropiado donde se enciende y apaga con frecuencia.

Tabla 13-1: Comparación de diversos tipos de artefactos para iluminación

*Un sistema pico hidro que provee iluminación puede llegar a sobrecargarse si fallan las lámparas LFC y los usuarios las reponen con bombillos incandescentes (que son más baratos). Una ventaja adicional de los tubos flourescentes es que es menos tentador reponerlos con bombillos incandescentes visto que habría también que reponer los cepos (portalámparas).

Carga de Baterías

Los cargadores de baterías son útiles en áreas rurales no conectadas a las redes eléctricas. Utilizando la potencia hidroeléctrica como fuente, un cargador puede quedar en servicio durante períodos largos, y, dependiendo del diseño, pueden cargar varias baterías a la misma vez. Familias que viven demasiado largo del generador hidroeléctrica puede utilizar las baterías. Una batería permite funcionar cargas eléctricas sencillas, y puede recargarse cuando se requiera. Se cobra por el servicio de carga de baterías un pago pequeño que resulta al usuario mucho más barato que la compra de pilas (baterías) descartables.



Figura 13-4 Cargando baterías con potencia hidroeléctrica (Peru)

Las baterías almacenan electricidad CD a bajo voltaje, la cual es diferente de la electricidad CA a mayores voltajes generada por el generador. Dos tipos de baterías recargables de uso común para alimentar artefactos eléctricos pequeños en zonas rurales, son la batería Plomo-Ácido y la Niquel-Cadmio (Ni-Cad). Baterías del tipo Plomo-Ácido se utilizan para suplir electricidad CD a 12V en la mayoría de vehículos, y se utilizan a menudo para luces, radios y televisores en hogares rurales porque son ampliamente disponibles y almacenan bastante energía. Hay diferentes tipos de baterías Plomo-Ácido. El tipo vehicular de diseño viejo permitía el relleno del electrolito con agua destilada. Los de diseño moderno son sellados para evitar derrames del ácido y no se les da mantenimiento. Un tipo más costoso es la batería de ciclo profundo. Estas

proporcionan almacenamiento de mayor duración que las baterías automotrices.

Las baterías Niquel-Cadmio cuestan más por unidad de energía almacenada, y se utilizan para alimentar a cargas pequeñas como focos de mano y radios. Dan voltajes menores pero son más fáciles de manejar y de mayor confiabilidad que las baterías Plomo-Ácido.

Los cargadores de baterías convierten la electricidad CA a CD y evitan sobrecargas lo cual es importante para la vida y confiabilidad de las baterías.

Seguridad en la Carga de Baterías Plomo-Ácido

- En el proceso de cargar baterías Plomo-Ácido se producen gases explosivos, así que la presencia de llamas o chispas en las cercanías del cargador es extremadamente peligrosa y debe de evitarse.
- Cargar baterías en una área bien ventilada.
- Usar guantes y anteojos protectores al manejar las baterías, para evitar quemaduras por el ácido sulfurico que forma el electrolito. Lavar el ácido derramado de inmediato con agua limpia.
- Baterías, aún cuando tengan poca carga, pueden causar incendios si se cortocircuitan los terminales con un cable u otro conductor metálico.
- Desconectar siempre el cargador antes de desconectar las baterías que se están cargando

Comportamiento de las Baterías

No se debería permitir que las baterías Plomo-Ácido se descarguen completamente visto que eso les daña. Baterías vehiculares están diseñadas solo para descargadas poco profundas, lo óptimo es que no se descarguen más del 20% de su capacidad total. Un indicador de carga de baterías (disponible a bajo costo en algunos países) es útil para monitorear el grado de descarga de las baterías. Las baterías de ciclo profundo pueden descargarse hasta un 80% de su capacidad total sin que se dañen.

La confiabilidad de una batería se deteriora cuando se cicla mucho (cargar y descargarla). Generalmente una batería vehicular nueva y de

buena calidad fallará si se le cicle 200 veces hasta el 50% de su capacidad. Una profundidad de descarga apropiada, entonces, es el 20%. Eso prolongará su vida útil. Las baterías de ciclo profundo pueden ciclarse muchas veces más, típicamente 1000-2000 veces hasta el 80% de su capacidad. Eso significa que durarán mucho tiempo más que la batería vehicular, aunque sean más caras inicialmente.

Las baterías Ni-Cad se comportan al revés, en el sentido que duran más y funcionan mejor cuando se les descarga completamente antes de recargarlas. Esa es una ventaja porque no se requiere de monitoreo de la carga y la tendencia natural de la gente es de utilizar una batería hasta descargarla completamente.

Capacidad de las Baterías

La capacidad de una batería refiere a la cantidad de energía que puede almacenar. Una batería de 60 amperios-horas puede suministrar un amperio durante 60 horas o 20 amperios durante 3 horas. Multiplicar los amperios-horas por el voltaje para conocer los Vatio-horas.

Ejemplo

¿ Durante cuánto tiempo podrá utilizarse una batería vehicular de 12V 60Ah para alimentar a un televisor blanco-y-negro que requiere 40W 12VCD, si la profundidad máxima de descarga es del 20% ?

Respuesta:

Capacidad de almacenamiento de la batería
 $= 12 \times 60 = 720$ Vatio-horas.

Capacidad utilizable antes de recargarla =
 $= 720 \times 20\% = 144$ Vatio-horas

Horas de ver el televisor (TV de 40W)
 $= 144 / 40 = 3\text{hrs } 30\text{mins}$

Iluminación de Emergencia

Un producto vendido como lámpara de emergencia se ha hecho popular en muchos países recientemente. Es una lámpara de tubo con un cargador de batería integrado. En áreas donde la red eléctrica es de desconfiarse, estas lámparas son muy útiles porque pueden ocuparse durante los apagones y recargarse desde la red eléctrica cuando se restablece el servicio. También pueden proporcionar iluminación en

áreas rurales, y recargarse con un generador de inducción. Visto que son portátiles, obvian la necesidad de los focos.



Figura 13-5 Ejemplar de lámpara de emergencia que se vende en Kenya, 2 x 8 vatio luminarias y enchufe para recargarlo (Costo = \$35).

Radio y Televisores

Después de la iluminación, los radios y televisores probablemente son las cargas domiciliarias más comunes. Las consideraciones para la operación de estas cargas en sistemas pico hidro u otros sistemas eléctricos aislados son las siguientes:

- Operación a baja frecuencia o a sobrevoltaje es dañino. La vida de los componentes internos como los transformadores se recortará por exceso de corriente y recalentamiento.
- Pequeños aumentos de la frecuencia no deberán causar daños.
- Proteger los televisores, que son caros, con un regulador de voltaje aparte.
- Operación de radios y televisores desde una fuente CD tal como una batería, no causará daño con tal que la electricidad esté al voltaje correcto y el radio o TV está diseñado para operar con baterías.

13.2 Cargas movidas por motores

Muchos artefactos modernos son movidos por motores eléctricos. La conexión de cargas movidas por motores a un sistema eléctrico aislado trae consigo ciertas consideraciones especiales. La diferencia principal entre cargas movidas por motores y las demás cargas eléctricas comunes, es que la corriente para el motor puede variar considerablemente:

- en el momento de arranque de un motor, se requiere mucho más corriente que cuando el motor está en marcha normal.
- la corriente requerida por el motor puede variar en marcha dependiendo de la carga conectada al motor.

Por ejemplo, un motor que mueve un aserrío jalará más corriente cuando se está cortando tablas que cuando la sierra está girando en vacío. Pero como otro ejemplo, un motor que mueve un abanico jalará una corriente constante cuando funcione el abanico, visto que la carga o fuerza del abanico es constante, no varía.

Pueden ocurrir varios fenómenos indeseados cuando se conecte un motor de tamaño incorrecto a un generador particular:

- el motor no arranca y el generador pierde excitación.
- el voltaje baja fuertemente cuando se arranca el motor. Cuando el motor esté en marcha el voltaje es menor que su valor nominal, lo cual indica que el sistema está sobre-cargado.
- el MCB en la casa de máquinas puede dispararse, desconectando a todas las cargas conectadas en caso que la máquina movida por el motor se trabaje.

El no poder arrancar un motor, o el disparo de los breakers cada vez que se utilice el motor, puede causar frustración y desilusión con el sistema por parte de los usuarios. Estos problemas pueden minimizarse con una planificación adecuada.

13.3 Como evitar problemas con el arranque de motores

Para evitar problemas con el arranque de motores, se tienen que considerar los siguientes factores:

- a) el tamaño del motor que se conecta al generador
- b) el tipo de motor que se conecta
- c) el tipo de carga movida por el motor

- d) la longitud y calibre del cable que se instala entre el generador y el motor.

Tamaño del motor

Los motores utilizan mucho más potencia al arrancarse que cuando estén en marcha. También en el momento de encenderse pueden provocar una caída en el voltaje del sistema lo cual reduce su torque de arranque. Si se intenta de prender un motor que es demasiado grande, el torque de arranque será insuficiente para hacer girar el eje.

¿Cuál es el tamaño del motor más grande que puede arrancarse en un sistema pico hidro ?

Usar esta regla general para decidir:

Potencia Max. de Motor = 10% de la Potencia del Generador

Por ejemplo, el motor más grande que podría ser arrancado y operado por un motor de inducción que produce 2.5kW es: 10% de 2500W = 250W

b) Tipo de motor

Motores universales son utilizados en muchos aparatos pequeños y de uso manual, tales como taladros eléctricos. Estos motores son compactos, son disponibles en tamaños más pequeños que los motores de inducción, y son más fáciles de arrancar. El tipo de motor utilizado para la mayoría de cargas que requieren más de 200W aproximadamente es el motor de inducción. Este es el mismo tipo de motor que se utiliza como generador en el Pico Power Pack. Usualmente se conectan capacitores para ayudar al motor de inducción en el arranque y para mejorar el factor de potencia cuando esté en marcha. Entonces los motores de inducción se clasifican de acuerdo al tipo y la capacidad de los capacitores que tienen conectados. El tipo de motor de inducción a usar debe tomar en cuenta el tipo de carga que va a ser operado con el motor

Tipo de Motor	Características	Cargas apropiadas
Capacitor de Arranque	Alto torque de arranque	Refrigs, molinos, compresores.
Capacitor de Marcha	Factor de potencia buena / bajo torque	Piedras de esmeril, taladros, abanicos
Capacitores de Arranque y Marcha	Son los mejores en general	Sierras y cepillos de carpintería

c) Arranque de diferentes tipos de cargas

El tipo de carga operado por un motor afecta la facilidad del arranque. La fuerza requerida para girar (el torque) que se requiere, por ejemplo para arrancar un aserrío es distinto que la fuerza requerida para arrancar un abanico. Se requiere de un torque inicial alto para arrancar el aserrío para superar la fricción del mecanismo mecánico.

Para ciertos tipos de maquinaria que son fáciles de arrancar, por ejemplo los abanicos, la potencia del motor puede aumentarse al 20% de la potencia del generador. Las máquinas que pueden especificarse para una potencia del 20% de la potencia del generador son las siguientes;

- Abanicos
- Ruedas esmeriles (para afilar herramientas)
- Taladros eléctricos

d) Ubicación del motor

Es probable que el motor sea una de las cargas más grandes en el sistema de distribución. Es importante que el voltaje se mantenga dentro de los límites requeridos. Si el motor se instala cerca al generador entonces recibirá un voltaje mayor. Eso minimizará los problemas del arranque. Si el motor se instala a gran distancia del generador, el cable para conectarlo resultará muy caro y el motor recibirá menor voltaje para el arranque.

aprovecharse bien durante horas del día. Se puede aprovechar la potencia para generar ingresos para el sistema eléctrico y repagar rápidamente el préstamo que se sacó para ayudar en comprar los equipos.

Muchas actividades que generan dinero y son útiles a la comunidad, tal como la molienda de granos, aserrada de madera, etc., requieren de potencia mecánica. En áreas servidas por las redes eléctricas nacionales, la potencia mecánica para estos propósitos usualmente está suplida por motores eléctricos. Siempre es posible operar algunos motores con la electricidad generada por una planta pico hidro, pero hay limitantes importantes a como se explicó en el inciso anterior.

Afortunadamente con sistemas pico hidro existe también la posibilidad de operar las cargas de manera directa. La energía mecánica del rodete de la turbina puede ser transferida directamente a las cargas mecánicas sin convertirse en electricidad. Eso usualmente se logra por medio de una transmisión de poleas y bandas. La ventaja principal en utilizar la potencia mecánica directamente, es que se pueden operar cargas mucho más grandes de las que podrían ser operadas mediante motores eléctricos. Para una comparación entre la transmisión de potencia con motores y con acoplamientos mecánicos, véase la Table 13.2.

Cuando la potencia mecánica se utiliza directamente mediante una transmisión por poleas y bandas, resulta posible operar equipos que requieren casi toda la potencia nominal de la turbina. Se pierde un poco de eficiencia en la transmisión por bandas. Esta pérdida será, cuando mucho, un 10% de la potencia que hay en el eje de la turbina, con tal que las poleas y

13.4 Usos mecánicos

Además de suplir las cargas domiciliarias como la iluminación, la potencia pico hidro puede

	Maquinas movidas por Electricidad	Máquinas movidas por fuerza mecánica
Facilidad de Arranque	Usualmente difícil a menos que el motor sea muy pequeño.	Excelente, visto que el torque de la turbina es un máximo a velocidad de cero.
Eficiencia	baja (50% de la potencia de la turbina)	Alto (90% de la potencia de la turbina)
Ubicación para la Instalación	Muy flexible	Muy inflexible (tiene que instalarse al lado de la turbina)
Mantenimiento y Reparaciones	Más complicados, por lo tanto el mantenimiento y requerimientos de reparaciones son mayores	Mantenimiento y reparaciones fáciles.
Costo	Costo puede ser menor que para el equivalente mecánico si el aparato es fabricado en masa. Se tienen que incluir en los costos, el cable y dispositivo de corrección de factor de potencia.	Hay que incluir costos de poleas, bandas, y montaje. Equipos mecánicos hechos localmente, pueden ser más costosos que aparatos eléctricos fabricados en masa.

Tabla 13-2 Comparación de cargas movidas por electricidad y cargas movidas por fuerza mecánica

bandas estén correctamente seleccionadas y tensionadas. Eso deja 90% de la potencia disponible para operar la maquinaria. Compárese esto con el tamaño máximo de motor eléctrico de inducción que puede operarse, conforme el ejemplo calculado en la página 13-7.

Ejemplo: Calcular la potencia mecánica disponible para operar una carga mecánica.

La potencia en el eje de la turbina es 3.5 kW
La eficiencia de la transmisión por bandas es 90%

Respuesta

$$90\% \text{ de } 3.5 = 3.5 \times 0.9 = 3.15 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia disponible} = 3.15 \text{ kW}$$

Algunos ejemplos de cargas mecánicas comunamente operadas con potencia hidráulica aparecen en la Tabla 13-8. Requerimientos típicos de potencia y velocidades para cargas mecánicas pequeñas (apropiadas para operación en ciertos sistemas pico hidros) también aparecen en la tabla. Antes de comprar maquinaria mecánica, consultar la información del fabricante para asegurar que la potencia de la turbina será adecuada para operar la maquinaria. La selección de los equipos determinará los tipos de poleas y bandas requeridos. Léase con cuidado los siguientes incisos para asegurar la correcta selección de los equipos y las transmisiones.

13.5 Poleas y bandas de transmisión

Las transmisiones por poleas y bandas se utilizan cuando se opera un equipo mecánico que tenga una velocidad de giro diferente a la velocidad de la turbina.

Nota: Acoplamiento Directo de cargas mecánicas

En caso que sea posible operar la carga mecánica por acoplamiento directo del eje de la maquinaria al eje de la turbina, entonces no se requieren de las poleas y bandas. Las consideraciones para un acoplamiento directo de ejes son las siguientes:

- La velocidad de giro de la turbina debe ser igual a la velocidad operativa de la máquina a operar
- La línea central del eje de la turbina tendrá que coincidir exactamente con la línea central del eje de la máquina. (¿ Va a resultar práctico ubicar la máquina cerca al piso ?)
- Se hace complicado el desacoplamiento de la turbina y la máquina.

El acoplamiento directo de ejes es práctico bajo ciertas circunstancias y para ciertas cargas (p.e. ruedas esmeriles) pero generalmente no es práctico.

Hay dos tipos de bandas de transición comunamente utilizados en sistemas pico hidro, la banda en "V" y la banda plana. Las bandas en "V" son más apropiadas para uso en sistemas pico hidro porque son más pequeñas, más livianas, más fáciles de instalar y mantener, y de menor costo que las bandas planas.

Transmisiones por bandas en "V" constituyen un método eficiente y robusto para la transmisión de potencia entre la turbina y otras máquinas. La banda "en C" (de cuña) es un tipo de banda en "V" más moderna. Pueden transmitir más potencia porque se acúan más profundamente dentro de las ranuras de la polea y así la agarran con mayor fuerza. Las diferencias en dimensiones entre los dos tipos de bandas se ilustran en la Figura 13-6

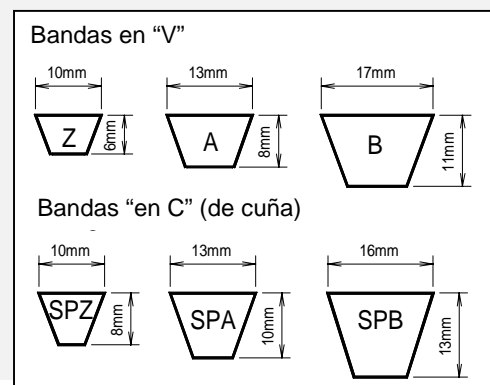


Figura 13-6 Secciones de diferentes tamaños de bandas

Las bandas en "V" están designadas por letras Z, A, B en orden de tamaño, y similarmente las bandas "de cuña" van por letras SPZ, SPA, SPB. Bandas en "V" y "en C" del mismo rango de tamaño (por ejemplo la Z y la SPZ) pueden utilizarse en la misma polea. Sin embargo, hay que poner cuidado de no confundir los dos tipos. Las bandas en "V" por lo general son mucho más baratas que las bandas "en C" lo cual las hace atractivas cuando hay que comprar un repuesto. Sin embargo, si se repone una banda "de cuña" con una banda en "V" hay fuertes probabilidades que la transmisión dejará de servir ya que la banda en "V" comenzará a patinar.

Para que las poleas y bandas funcionen correctamente y tengan larga vida, tienen que ser cuidadosamente seleccionadas. Habrá que conocer respuestas a las siguientes preguntas:

- ¿Cuánta potencia es requerida para operar la carga?
- ¿A qué velocidad gira la turbina cuando el generador esté en servicio?
- ¿Cuál es la velocidad de operación requerida en el eje de la máquina de la carga?
- ¿Cuánta es la distancia entre los centros de los dos ejes?
- ¿Durante cuántas horas diarias operará la carga?
- ¿Cuál es el diámetro del eje de la turbina?
- ¿Cuál es el diámetro del eje de la máquina?

Relación de Velocidades

En la selección de poleas, la velocidad de uno de los ejes puede ser distinto de la velocidad del otro. Eso es conveniente para sistemas pico hidro. La velocidad de la turbina puede ser aproximadamente 1000 rpm (revoluciones por minuto), más comunamente de 1500 rpm o a veces hasta de 3000 rpm. ¡Son 50 vueltas completas cada segundo! La mayoría de máquinas conectadas a la turbina requieren de velocidades más bajas que éstas. Por ejemplo, un pequeño molino de harina puede requerir tan solo 500 o 600 rpm. La diferencia de velocidades entre los dos ejes se llama la "relación de velocidades". Se calcula a como sigue:

$$\text{Relación de velocidades} = \frac{\text{velocidad del eje de la turbina rpm}}{\text{velocidad del eje de la carga rpm}}$$

La velocidad de giro del eje de la turbina dependerá de las condiciones del sitio y del tipo de generador que se instala. Usualmente el fabricante del equipo turbo-generador escoge la velocidad. Es ventajoso utilizar el generador y el controlador como controles de sobre-velocidad. En caso que la carga mecánica requiere menos que la potencia disponible de la turbina, la potencia en exceso estará entregándose al generador y al controlador. En caso que la carga mecánica requiere toda la potencia de la turbina, entonces la velocidad se disminuirá en un 10% visto que a esta velocidad el generador no se excitará y por ende no existirá carga eléctrica.

Una transmisión de reducción de velocidad significa que se monta una polea pequeña en el eje de la turbina y una polea más grande en el eje de la carga mecánica. Eso significa que la polea de mayor diámetro girará más lentamente que la polea pequeña, tal que la carga por ejemplo un molino no gire demasiado rápido. Una transmisión de aumento de velocidad, es al revés : se pone una polea más grande a mover una polea más pequeña tal que la pequeña gire más rápido. Hay por ejemplo ciertos tipos de sierras, que pueden requerir de una transmisión de aumento de velocidad.

Una velocidad del eje del generador en base a la cantidad de polos que tiene el generador, debería usarse al calcular la relación de velocidades. La cantidad de polos del generador (usualmente son 4 pero pueden a veces haber 2, 6 o 8 polos) es un dato que se obtiene de la placa del generador. Generadores de 4 polos son los más comunes.

Cantidad de Polos	Desnivel aprox. (m)	Velocidad de Diseño de giro de la Turbina/Generador (rpm)
2	>80m	3000
4	25 - 80	1500
6	<25	1000

Tabla 13-3 Velocidades del eje del generador y rangos de desnivel para acoplamiento directos (generadores de 50Hz)

Para mayor información acerca de la selección de la velocidad de giro de diseño de la turbina, favor leer las notas del Anexo B.

Diámetro Mínimo de las poleas

Una consideración final cuando se seleccionan las poleas para una transmisión es que distintos tamaños de motores de inducción tienen distintos diámetros mínimos de las poleas que se pueden montar en los ejes del motor. Eso se debe al hecho que la polea de menor diámetro requiere de mayor tensión en la banda y por ende aplicará mayor fuerza lateral al eje. En la tabla siguiente se ven unos tamaños comunes de motores de inducción y los diámetros mínimos de poleas correspondientes:

Tamaño de carcasa de Motor	Capacidades comunes (kW)	Diámetro mínimo de polea (mm)	
		4 polos	6 polos
D80	0.37 / 0.55 / 0.75	71	71
D90S&L	0.75 / 1.10 / 1.50	71	71
D100L	1.50 / 2.20 / 3.00	71	71
D112M	2.20 / 4.00	90	71
D132S	3.00 / 5.50	90	85
D132M	4.00 / 5.50 / 7.50	112	95

Tabla 13-4 Diámetros mínimos de poleas

Potencia a transmitir por cada Banda

La cantidad de potencia que cada banda puede transmitir depende del ancho y grosor de la banda (sea de tamaño SPZ, SPA, Z o A etc.) y también depende del diámetro de la polea menor. Las poleas de diámetros mayores son capaces de transmitir más potencia porque tienen mayor área de contacto con las bandas, lo cual reduce el riesgo de que las bandas patinen. Las bandas "de cuña" pueden transmitir más potencia que las bandas en "V". La potencia que puede ser transmitida por cada banda, para distintos tamaños de bandas y poleas, se vé en Tabla 13-5 y Tabla 13-6

Z	Potencia Nominal (kW) por banda para la polea pequeña de distintos diámetros (diámetros en mm)						
rpm eje turbina	71	80	85	90	95	100	106
1000	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
1500	0.9	1.1	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8
3000	1.5	1.9	2.1	2.3	2.5	2.8	3.0

A	Potencia Nominal (kW) por banda para la polea pequeña de distintos diámetros (diámetros en mm)						B
rpm eje turbina	90	100	112	125	132	140	140
1000	1.1	1.4	1.8	2.1	2.3	2.6	2.9
1500	1.5	1.9	2.4	2.9	3.2	3.5	3.9
3000	2.3	3.0	3.8	4.6	5.0	5.5	5.3

Tabla 13-5 Potencia por cada banda, para transmisiones de bandas en "V"

SPZ	Potencia Nominal (kW) por banda para la polea pequeña de distintos diámetros (diámetros en mm)						
rpm eje turbina	71	75	85	95	112	125	140
1000	0.8	0.9	1.2	1.4	1.9	2.2	1.7
1500	1.1	1.3	1.6	2.0	2.7	3.2	3.7
3000	1.8	2.1	2.8	3.5	4.7	5.5	6.4

SPA	Potencia Nominal (kW) por banda para la polea pequeña de distintos diámetros (diámetros en mm)						SPB
rpm eje turbina	90	100	112	125	132	140	140
1000	1.4	1.8	2.3	2.9	3.2	3.5	4.1
1500	1.9	2.5	3.2	4.0	4.5	5.0	5.5
3000	2.9	4.0	4.7	6.7	7.4	8.2	8.5

Tabla 13-6 Potencia por cada banda, para transmisiones de bandas "en C" (de cuña)

Transmisiones por bandas sencillas y por bandas múltiples

A menudo se diseñan transmisiones que utilizan dos o más bandas "de cuña", para aumentar la potencia que puede ser transmitida con una sola polea. Sin embargo, para proyectos pico hidro se recomienda que se utilicen transmisiones de solo una banda. Los motivos son:

- Usualmente no hay ahorros de costos en utilizar transmisiones de bandas múltiples en este rango de potencias.
- Si se requiere más de una banda, entonces las bandas deben ser escogidas emparejadas (es decir deben ser de exactamente el mismo largo). Una mínima diferencia en longitudes hará que una de las bandas falle antes que las demás.
- Si se rompe una de las bandas, será necesario reponer todas las bandas a la misma vez. Una transmisión de bandas múltiples no puede operar si una o más bandas están haciendo falta, de manera que la transmisión múltiple tendrá los mismos requerimientos de mantenimiento como si fuera de una sola banda.
- El acoplar y desacoplar el eje de la turbina y el eje de la carga mecánica es más difícil cuando las poleas tienen múltiples ranuras.
- Usar una sola banda simplifica la selección de la mejor combinación de poleas.

13.6 Procedimiento para selección de poleas y bandas:

PASO 1

Encontrar la relación de diámetros de las poleas:
 Relación de velocidades = velocidad del eje de la turbina (rpm) / velocidad del eje de la carga (rpm).

PASO 2

Revisar las tablas de 'Potencia por cada Banda' (Tabla 13-5 y Tabla 13-6). Escoger el diámetro mínimo de polea y el tipo de banda apropiados para transmitir la potencia requerida. (Verificar en la Tabla 13-4 que se está respetando el diámetro mínimo de polea correspondiente al generador) Las tablas referente a las bandas incluyen un factor de servicio de 1.1, bajo el supuesto que la carga estará operando durante 10 horas diarios o menos. Para mayor información referente capacidades de bandas, ver el Anexo C.

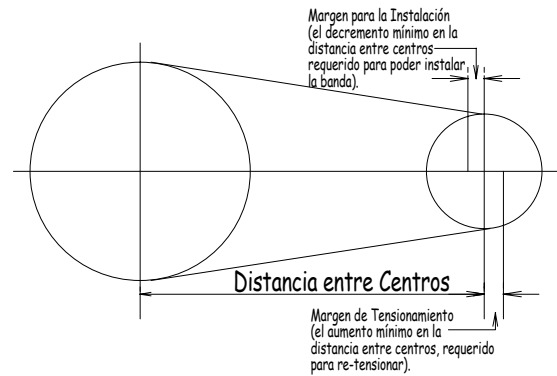


Figura 13-7 Medición de distancia entre centros de los ejes

PASO 3

Escoger otra polea de los que están disponibles, y que dará la relación de velocidades requerida dentro de un margen de ±10%. Si no se puede obtener la relación correcta con las poleas que están disponibles, entonces ver otra vez la tabla de potencias por cada banda y comenzar nuevamente partiendo del próximo tamaño de polea más grande de la que se acaba de probar.

PASO 4

Calcular la longitud requerida de la banda, utilizando la distancia aproximada entre los centros de los ejes (ver Figura 13-7 y los diámetros de las dos poleas.

$$L = 2C + \frac{(D - d)^2}{4C} + 1.57(D + d)$$

donde:

- L= longitud nominal de la banda, en mm
- C= distancia entre los centros de ejes, en mm
- D= diámetro primitivo de la polea grande, en mm
- d= diámetro primitivo de la polea pequeña, en mm

Para calcular la distancia requerida entre centros, cuando se conoce los largos nominales de bandas disponibles y la combinación de diámetros de poleas, usar la siguiente fórmula:

$$Dist. _entre _Centros. = A + \sqrt{A^2 - B}$$

donde

$$A = \frac{L}{4} - 0.3925(D + d)$$

y

$$B = \frac{(D - d)^2}{8}$$

Ejemplo : Especificación de una transmisión de poleas y banda

- 1) ¿Cuál va a ser la mejor combinación de poleas y banda para el siguiente caso?:
- Potencia a transmitir = 3.6 kW
 - Velocidad del eje de la turbina = 1500 rpm
 - Velocidad requerida en el eje de la carga = 550 rpm
 - Distancia aproximada entre ejes = 800 mm
 - Horario máximo = 10 hrs por día

Paso 1 Relación de diámetros de las poleas
 = velocidad turbina / velocidad carga
 = 1500 / 550
 = 2.73:1

Paso 2 Potencia de diseño
 = Potencia de la carga + 10%
 = 3.6 kW + 0.36 kW
 = 4.0 kW

Paso 3 Seleccionar la polea y la banda de las Tabla 13-5 y Tabla 13-6.
 La combinación más cercana para este requerimiento de potencia es la banda SPA utilizando una polea de 125mm diámetro en el eje de la turbina. La potencia permisible por cada banda es de 4.0 kW (a 1500 rpm).

Paso 4 El diámetro de la "polea impulsada" también puede calcularse: Se requiere de una relación de 2.73, y la polea en el eje de la turbina es de 125mm diámetro. El diámetro de la polea impulsada = 125 x 2.73 = 340mm. El tamaño más cercano a éste es de 315mm. La relación pasa a ser 315/125=2.52. Eso dará una velocidad en el eje de la carga de 1500/2.52=595rpm. Si esta velocidad es aceptable, entonces se utiliza esta combinación de poleas y bando. Sino, entonces repetir el procedimiento de cálculo

comenzando con un tamaño diferente de la polea impulsor o con una banda distinta.

Paso 5 ¿Cuál es la longitud de la banda requerida para una distancia entre centros de los ejes de aproximadamente 800mm?

$$L = 2C + \frac{(D - d)^2}{4C} + 1.57(D + d)$$

$L = 2 \cdot 800 + \frac{(315 - 125)^2}{4 \cdot 800} + 1.57(315 + 125)$
 $L = 2302$. Una banda de 2300mm estará bien.

Ahora afinar la distancia entre centros de los ejes, utilizando la longitud de banda de 2300mm

$$\text{Dist. entre Centros} = A + \sqrt{A^2 - B}$$

donde

$$A = \frac{L}{4} - 0.3925(D + d)$$

y

$$B = \frac{(D - d)^2}{8}$$

Nueva distancia entre Centros = 799mm
 (A=402.3, B=4512.5)

2) ¿Cuales son los ajustes requeridos en la distancia entre centros de ejes para permitir la instalación y la regulación de tensión de la banda?

Consultando una banda SPA de 2300mm de largo:

a) Para la instalación : se debe prever una reducción de la distancia entre centros de los ejes de por lo menos 25mm.

b) En caso que la banda se estire, se deberá prever un aumento en la distancia entre centros de los ejes de 40mm para permitir el retensionamiento de la banda.

Preguntas Adicionales:

1) ¿Qué combinación de poleas y banda se recomienda para transmitir una potencia de 2kW entre una turbina y una máquina bajo las siguientes condiciones:

Velocidad de giro del eje de la turbina = 1500rpm. Velocidad de giro del eje de la carga = 2000 rpm. Horario de utilización máxima = 3 horas por día.

2) Se tiene una banda SPZ de 1500mm de longitud. ¿Será apropiada esta banda para transmitir potencia a una carga mecánica de 1kW? La distancia entre centros de los ejes es de aproximadamente 600mm.

13.7 Tensionamiento de bandas y accesorios de montaje

El tensionamiento correcto de la banda es importante para la confiabilidad y la eficiencia. Bandas flojas tienden en patinar. Eso genera calor excesivo que recorta la vida de la banda. Bandas demasiado socadas provocan sobrecargas en las balineras y también recortan la vida de la banda. La vida útil de las balineras se recorta cuando se les aplica cargas mayores de las de diseño. Se requiere de algún mecanismo para poder ajustar la distancia entre los centros de los dos ejes para permitir la instalación de la banda y también para poder retensionar la banda en caso que se estire. La tensión en la banda puede medirse con una balanza de resorte. El procedimiento se explica en el Anexo C, junto con unos métodos que permiten el ajuste de la tensión de la banda.

Largo Nominal de la Banda (mm)	Ajuste para Instalación (mm)			Ajuste para Socar (mm)
	Z SPZ	A SPA	B SPB	
410 to 530	20			5
530 to 840	20	25	30	10
850 to 1160	20	25	30	15
1170 to 1500	20	25	30	20
1510 to 1830	20	25	30	25
1840 to 2170	20	25	30	30
2180 to 2830	20	25	30	40
2840 to 3500	20	25	30	50
3520 to 4160	20	25	30	60
4170 to 5140	20	25	30	70
5220 to 6150		25	30	65

Tabla 13-7 Márgenes para Instalación y Resocado (ver Figura 13-7)

Tipo de Máquina	Velocidad (rpm)	Potencia	
		h.p.	kW
Molienda de granos secos			
200mm	600	3	2.2
225	550	4	3.0
280	550	6	4.2
Trilladora 450mm dia. Tambor	1100	4-5	3.0-3.6
Carpintería			
Sierra circular dia. 200mm	2800	1	0.75
Banda sinfín dia. 300mm	-----	1	0.75
Cepilladora (600mm ancho de la cuchilla)	3000	1	0.75
Torno (Mediano, 160mm)	500-2000	0.5	0.375

Tabla 13-8 Ejemplos de cargas mecánicas y requerimientos típicos de velocidad de giro y potencia.

14 EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

- 14.1 Introducción
- 14.2 Dibujo del Esquema Preliminar
- 14.3 Patrones Generales
- 14.4 Selección de Cables para Electrificación de Aldeas
- 14.5 Postes para Tender los Cables
- 14.6 Instalación del Sistema de Distribución
- 14.7 Protección del sistema de distribución
- 14.8 Selección de Calibres de los Cables
- 14.9 Diseño de sistemas de distribución para alimentar a Talleres



Figure 14-1 Instalación de un sistema de distribución para una aldea (Kushadevi, Nepal)

14.1 Introducción

El "sistema de distribución" consiste en los cables, postes y equipos asociados que conducen la electricidad generada por el generador hasta las casa y otros edificios donde se requiera.

El costo del sistema de distribución para una aldea probablemente será uno de los costos mayores de un proyecto pico hidro. Este costo, sin embargo puede minimizarse con un buen diseño.

Los métodos descritos en esta sección se limitan al diseño e instalación de sistemas de distribución mono-fásicos de corriente alterna

(CA) para la electrificación de aldeas. Para mayor información acerca de la electricidad CA, consultar el Anexo A.

Para información más detallada sobre sistemas de distribución, consultar el Manual de Diseño de Mini-Redes (Mini-Grid Design Manual, ESMAP Technical Paper 007). Este excelente documento de referencia está disponible sin costo, del Banco Mundial.

El diseño de un sistema de distribución necesita llenar los siguientes criterios:

- todos los clientes incluidos en el proyecto de electrificación estarán conectados al sistema de distribución
- se mantendrá una caída de voltaje igual o menor al 10 % en el punto más distante del generador
- el sistema de distribución operará de manera segura y confiable, sin poner en peligro a las personas.

14.2 Dibujo del Esquema Preliminar

El primer paso en el diseño de un sistema de distribución es dibujar con cuidado un plano del área, a escala. En el plano se representará la fuente de agua (manantial, arroyo, río) y también todas las casas que estarán conectadas al generador.

Es importante que este plano se hace a escala. Eso quiere decir que las distancias entre cada casa y la fuente del agua tienen que ser medidas con precisión y dibujadas en sus posiciones correctas. Si el plano contiene errores, será difícil diseñar las rutas de los cables y calcular la cantidad de cable que se requiere.

Sígase los siguientes pasos:

PASO 1

En una hoja de papel, marcar las direcciones Norte, Este, Sur, y Oeste.

PASO 2

Indicar con una flecha dibujada en el borde del papel, cual es la dirección que va "cuesta arriba". Si la aldea está ubicada en un valle, dibujar dos flechas apuntando en dos direcciones que indican los lados opuestos del valle.

PASO 3

Dibujar el arroyo de lo cual se sacará el agua para el proyecto pico hidro.

PASO 4

Dibujar con cuidado los caminos vehiculares, senderos, ríos, bosques, u otros objetos de importancia en el área.

PASO 6

Definir el esquema básico del proyecto (ver Página 6-1). Marcar las ubicaciones propuestas de la obra de toma, la cámara de carga o reservorio, tubería forzada y casa de máquinas. Anotar la longitud de la tubería forzada.

PASO 7

Marcar las posiciones de cuatro casas que van a estar conectadas al sistema de distribución, que sean las que quedan a las distancias mayores del generador. Escoger una casa en cada dirección, al Norte, Este, Sur y Oeste, si se puede, y use una brújula. Estas casas van a ser los puntos de referencia para el diseño preliminar del sistema de distribución. A veces ocurre que no hay casas en una o dos direcciones del generador. En este caso, escoja las tres o cuatro casas que estén más lejanas del generador y más distantes la una de la otra.

PASO 8

Asignar números a cada una de las casas de referencia 1,2,3,4. Después dibujar en el plano todas las casas que estarán conectadas al generador. Intentar de ubicar las casas con la mayor precisión posible sobre el plano. No se intenta de dibujar las conexiones entre las casas todavía.

PASO 9

Caminar 20 pasos normales y medir con cinta métrica la distancia total de 20 pasos suyos. Ahora caminar en línea recta desde la ubicación propuesta de la casa de máquinas hasta cada una de las casas de referencia. Contar los pasos de cada recorrido desde la casa de máquinas hasta cada casa de referencia. Convertir la cantidad de pasos en metros, y apuntar las distancias en el plano. Utilizar la brújula y apuntar en el plano los rumbos que observó en la brújula. Anotar

también las distancias entre el generador y cualquier casa que queda sobre o muy cerca de las rutas caminadas entre el generador y las casas de referencia.

PASO 10

El plano puede mejorarse si se vuelve a repetir el dibujo varias veces. Intente de poner con precisión las ubicaciones de las casas, y estimar las distancias entre una casa y otra. Este mapa tendrá más utilidad entre más preciso sea. Camine por la aldea varias veces, y mostrar su dibujo a otras personas para obtener sus opiniones. Anexar todo el detalle posible, especialmente en cuanto a las distancias entre las casas.

PASO 11

Dibujar el mapa una última vez, ahora haciendolo a escala. La inversión de tiempo en este proceso resultará en ahorros considerable de dinero en la compra de los cables. Incluir siempre en el dibujo la tubería forzada, la casa de máquinas, y las cuatro casas de referencia.

PASO 12

Ahora volver a dibujar las otras casas, con mucho cuidado. Asegurarse de colocar cada casa en la ubicación correcta relativa a las demás casas.

PASO 13

Una vez que se haya dibujado la versión final del plano, ya será el momento de comenzar a planificar la mejor método de interconectar las casas al generador.

Nota: Instrumentos GPS (Global Positioning Systems) ya están disponibles a la venta en muchos países, con precios de aproximadamente \$200. Estos instrumentos pueden facilitar mucho el trabajo de dibujo del plano.

14.3 Esquemas Generales

Revisar los siguientes ejemplos de esquemas de ubicación de las casas a conectar, y considerar cual de los esquemas más se parece al plano que Ud. ha dibujado.

A: Casas agrupadas juntas, pero a cierta distancia del generador

Esta es una situación muy común con los proyectos hidroeléctricos. Considerar la posibilidad de reubicar la casa de máquinas conforme las sugerencia de la Section 6 de este manual, para reducir la gran distancia hasta la aldea. Obviamente el ahorro de costo en la compra de cable tendrá que balancearse contra incrementos de costos que pueden resultar en la tubería forzada o un canal.

B Distribución radial; la casa de máquinas en una posición central y las casas ubicadas en todas direcciones

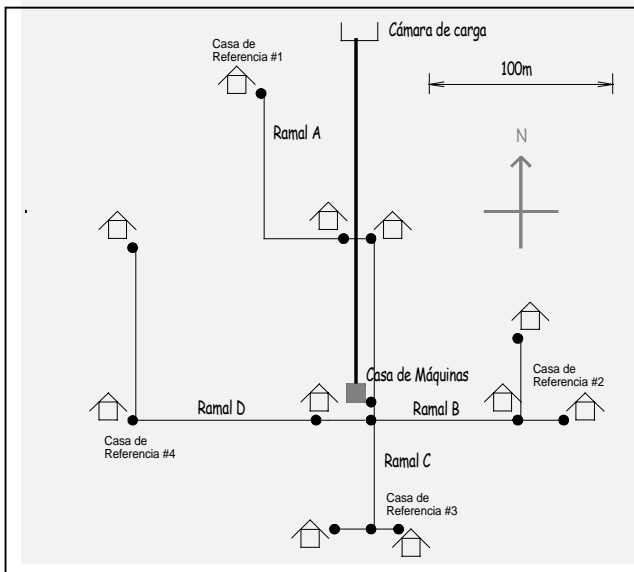


Figura 14-2 Sistema de Distribución Radial

Este es el esquema más conveniente. Si la casa de máquinas se construye en medio de las casas, el sistema de distribución se hace lo más corto posible. También se hace más fácil el mantenimiento y la reparación de la red eléctrica. Pueden ocuparse interruptores para aislar los ramales, y ubicar los interruptores todos juntos, en la casa de máquinas. MCBs son apropiados para este propósito (ver Section 9). El diámetro requerido del cable para las líneas principales de distribución será menor, visto que la corriente está dividida en varios ramales.

C: Distribución de las casas al hazar en una o dos direcciones

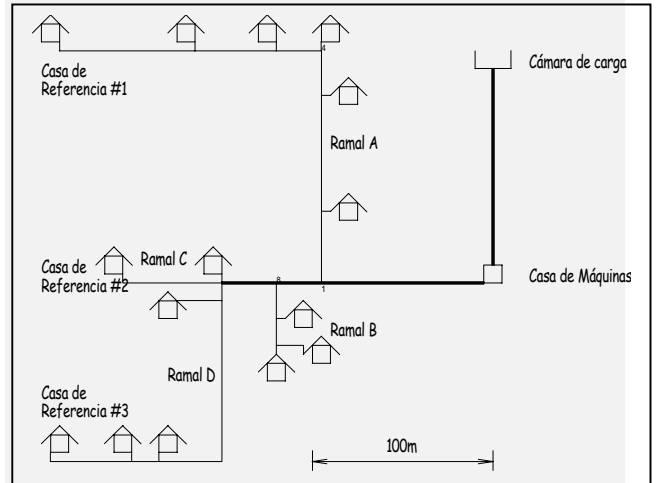


Figura 14-3 Sistema de distribución en dos direcciones

La ruta más corta para interconectar todas las casa al generador puede ser obvio para sistemas pequeñas que tengan este esquema. Para sistemas más grandes, estudiar con cuidado diferentes rutas hasta definir la ruta óptima.

14.4 Selección de Cables para la Electrificación de Aldeas

El cable que se requiere para alimentar de electricidad a las casas, va a ser una parte importante del costo total del proyecto. Por lo tanto es importante escoger los cables más eficientes.

Consideraciones claves

Cuando se seleccionan los cables para un proyecto de electrificación de una aldea, las consideraciones claves pueden resumirse a como sigue:

- **Costo:** Se tiene que tomar en cuenta tanto el costo directo de la compra de los cables, y también los costos indirectos de los postes, herrajes, etc. Usualmente los costos indirectos son mayores cuando se utilice cables sin forro de aislamiento visto que los cables conductores desnudos tienen que estar tensionados para mantener la separación entre ellos, y se necesitan aisladores para que los cables desnudos no hagan contacto con los postes.
- **Caída de voltaje:** El voltaje al extremo final del cable será diferente que el voltaje del generador. Eso se da principalmente debido al hecho que el cable tiene una resistencia.

La resistencia depende del calibre y el tipo de material conductor de lo cual está hecho (p.e. cobre o aluminio).

- Vida útil / confiabilidad: El cable estará expuesto a la intemperie durante todo el año. Algunos de los factores que afectan la vida y confiabilidad del cable son : el diámetro, el material conductor, el tipo de aislamiento, y la cantidad de hebras que conforman el trenzado del cable. Siempre es preferible tener más hebras, lo cual aumenta la flexibilidad del cable.
- Seguridad para las personas: La seguridad de la gente del lugar puede verse afectada por la selección del cable. Cables con aislamiento fuerte como el polietileno duro es el tipo más seguro. El diseño de los postes y el tensionamiento correcto de los cables también afecta la seguridad de las personas especialmente cuando se utilicen cables desnudos (sin forro aislante).
- Seguridad contra el robo: Es más fácil que la gente haga conexiones ilegales cuando el cable es del tipo desnudo.

Alambre de cobre "forjado a mano" es mejor que el alambre recocido (flexible) que se encuentra en la mayoría de equipos eléctricos, visto que tiene aproximadamente 60% más resistencia mecánica.

Sin embargo, se ha instalado cable de cobre del tipo utilizado en maquinaria eléctrica, recocido y con forro aislante, en muchos proyectos pico hidro en Nepal porque está ampliamente disponible en calibres convenientes. El único problema reportado fué un caso donde un cable de diámetro pequeño de tres hebras se quebró dentro del forro aislante lo cual hizo difícil hallar el desperfecto. Se recomienda usar cables con mayor cantidad de hebras, lo cual reduce el riesgo de este tipo de falla. Segundo, tenga en mente que el alambre de este tipo, fabricado para uso en equipos eléctricos, no está diseñado para aguantar su propio peso cuando se tienda sobre distancias largas. Para prevenir que este tipo de cable de cobre se estire y se reviente, se debería enrollar alrededor de un alambre de acero galvanizado o hierro que sirve de apoyo al cobre que es más débil. La mayoría de los cables de cobre aislados tienen aislamiento de PVC, pero el aislamiento de XLPE (Cross-linked Polyethylene) es más resistente a la intemperie.

Tipos de cable

El material conductor del cable comunamente es de cobre o sea de aluminio.

Cable de Cobre:

El cable de cobre es compuesto por hebras de alambre. La cantidad de hebras y el espesor de cada una de ellas, determinan la resistencia eléctrica y el costo que tendrá el cable. La cantidad de hebras varía pero para cables pequeños normalmente habrán 3,7,16,24,30,32 o 50 hebras. Los cables de cobre se codifican por un sistema de números. El primer número indica la cantidad de hebras que tiene, y el segundo número indica el calibre (espesor) de cada hebra. El cable número 7,16 por ejemplo, tiene 7 hebras cada una de calibre # 16.

Existen dos sistemas comunes de calibres de alambres: el sistema SWG (Standard Wire Gauge) y el sistema AWG (American Wire Gauge). Los dos utilizan distintas enumeraciones para indicar calibres (áreas seccionales, AS) de los alambres, así que se debe cuidar de no confundir los dos sistemas.

Nota sobre el aislamiento PVC

Algunos tipos de aislamiento para cables, hechos de PVC se "tuestan" cuando expuesto a la radiación del sol. También se ponen frágiles a temperaturas bajo cero. En caso de usar cables con aislamiento de PVC en un sistema de distribución eléctrica, el operador del sistema deberá revisar periodicamente los cables, buscando señas de degradación tales como pequeñas grietas en el aislamiento. Cuando sea necesario, se deberá entonces reponer el cable. El aislamiento de colores oscuros usualmente se degrada menos que él de colores claros.

Cable de Aluminio:

1. ACSR Los cables de aluminio comunamente vienen reforzados con una hebra de acero galvanizado. Este tipo de cable se conoce por las siglas ACSR (Aluminium Cable Steel Reinforced). Es popular debido a su relativamente bajo costo y su alta resistencia mecánica. Los cables de aluminio tienen

nombres o códigos que corresponden a áreas seccionales equivalentes de cobre. Eso permite comparar los cables en términos de su resistencia eléctrica.

2. ABC. Aerial Bundle Conductor es un cable hecho de una aleación de aluminio y que tiene aislamiento de XLPE. Este tipo de cable es altamente recomendado, porque es fuerte, resistente a los rayos del sol, liviano, y usualmente muy económico.
3. Alambre de aluminio para equipos eléctricos está disponible en algunas áreas. Es de bajo costo pero no es apropiado para uso como cable de distribución debido a su muy baja resistencia mecánica.

14.5 Postes para Tender los Cables



Consideraciones claves

Las consideraciones importantes en la selección de los postes para un sistema de distribución, son las siguientes:

- Costo: El costo de los postes puede ser sustancial o puede ser muy poco, dependiendo de si hay materiales locales que sirven para postes, o si tienen que ser comprados y transportados desde alguna distancia.
- Vida Útil: El material del poste y la manera en que se instalan y se mantienen son factores que afectarán la durabilidad de los postes.
- Seguridad: La seguridad de los postes depende de factores tales como el material y el método de instalación además de la altura de los postes.
- Peso: Postes hechos de materiales pesados como el concreto son difíciles de transportar e instalar.

Los postes pueden ser una parte costosa del sistema de distribución; como consecuencia es común que se escoge la opción más barata, aunque esto puede resultar más caro a la larga debido a la necesidad de frecuentes reposiciones.

Por lo general se prefieren postes de madera, aunque postes de concreto reforzado y de acero se utilizan donde la madera es escasa. Postes de madera de buena calidad y correctamente tratados deberán durar por lo menos 40 años. Por otro lado, postes de madera sin sasonar ni tratarse pueden fallar en menos de 12 meses, especialmente en áreas calientes y húmedas. Los postes deberán ser sasonados (secados) y tratados con preservativos. En climas secos, el secado puede realizarse por circulación natural del aire, pero en climas húmedos se requiere de secado en hornos o acondicionamiento con vapor. El tratamiento correcto de los poste consiste en un proceso a presión o baños calientes/fríos que hace que la creosota u otro preservativo penetre hasta el corazón de la madera. Desafortunadamente estos métodos, debido a su complejidad y costo, no son para tratar unos cuantos postes para un proyecto pequeño. Un método barato para tratar pocos postes es de pintar o bañar la parte inferior del poste en creosota o aceite usado de motor, aunque esto es mucho menos efectivo que el tratamiento completo con las técnicas arriba mencionadas.

Un método efectivo y de bajo costo para el tratamiento de postes de bambú es de poner las puntas inferiores de palos de bambú recién cortados en un recipiente con preservativo y después dejarlos durante 4 - 5 días al sol. El proceso natural de transpiración de la madera hace difundir el preservativo desde la base del palo de bambú hasta las hojas. Para más información acerca de postes y el tratamiento de postes, consultar el Mini-Grid Design Manual.

A veces se utilizan los troncos principales de árboles vivos para sostener los cables en áreas rurales. Se deberían utilizar solamente árboles sanos y maduros para este propósito, y se debería podar el follaje y ramas pequeñas por lo menos a 1.5m en todas direcciones alrededor del cable. También se debe remover las ramas inferiores para que niños no suban a tocar los cables. Se deberá revisar periódicamente para

asegurar que el crecimiento de los árboles no llegue a interferir con los cables. En zonas propensas a relámpagos, no se debería usar árboles vivos para sostener los cables (ver Section 16). Un golpe directo de rayo en un árbol que contiene cables de un sistema de distribución eléctrica causará una oleada de alto voltaje que se transmitirá por todo el sistema de distribución y podría provocar importantes daños a los equipos y a las personas.

14.6 Instalación del Sistema de Distribución

Instalación de los Postes

La distancia entre postes debe ser de 25 metros hasta 40 metros.

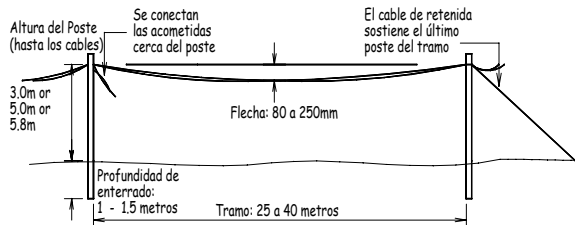


Figura 14-4 Requerimientos para la instalación de postes

El primer y el último poste en una línea de postes deben ser estabilizados con cables de retenida. Cualquier poste en ángulos también requiere de una retenida. Claros mínimos entre el terreno y los cables se respetan conforme las normas nacionales. Si no hay normas establecidas entonces los claros mínimos serían de 3.0m en terrenos abiertos, 5.5m a lo largo de caminos vehiculares y 5.8m donde los cables cruzan por encima de un camino vehicular. El espaciado entre postes debe ser de aproximadamente 25m y como máximo 40m.

Notar los requerimientos especiales para postes de más de 5 metros de altura, conforme la Tabla 14-1. Visto que es poco probable encontrar postes de bambú de los diámetros apropiados para hacer postes de más de 5 metros de altura, se tendrá que usar postes de madera fina para los postes altos.

Altura del suelo	3.0m	5.0m	5.8m
Diam. min del poste	100mm	125mm	125mm
Enterrado	1.0m	1.5m	1.5m
Tramo máximo	40m	35m	35m
Materiales	bambú o madera fina	madera fina	madera fina

Tabla 14-1 Requerimientos para postes de distribución

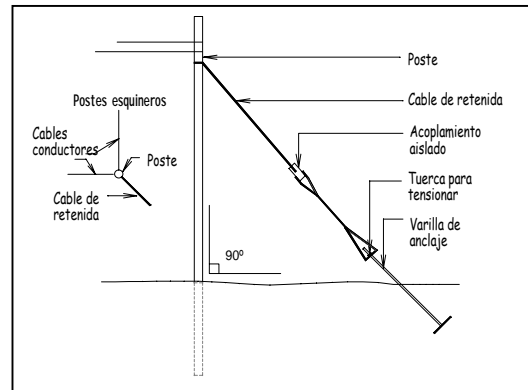


Figura 14-5 Uso de retenidas para sostener los postes y ayudar a tensionar los cables

Instalación de los Cables

Flechado: La distancia entre postes determina la flecha requerida. La flecha no es crítica para cables con forro aislante, con tal que se deja una flecha mínima de 80 mm para evitar tensionar demasiado los cables. La flecha máxima para cables con forro aislante es de 250mm.

Para cables desnudos, es importante medir la flecha con más cuidado para evitar el riesgo de contacto entre los conductores en caso de vientos fuertes. Los requerimientos de flechado para cables ASCR con varios espaciados entre postes se presentan en la Tabla 14-2.

Los cables se estiran en ambientes cálidos lo cual aumenta la flecha. Cuando se instalan los cables en clima frío, intentar de ajustarlos al flechado mínimo, y en clima caliente ajustarlos al flechado máximo.

Tramo (m)	20	25	30	35	40
flecha min. (mm)	20	30	45	50	75
flecha max. (mm)	70	100	150	200	250

Tabla 14-2 Requerimiento de flechas para cable ASCR

Medición de flecha por vistas

Un método para medir la flecha de los cables es por medio de tablas rectas de madera que se clavan a los postes a como se ve en la Figura 14-6. Las tablas se clavan a los postes a la altura correcta que corresponde a la flecha, y se toma vista desde un poste al siguiente. Se tensiona el cable hasta alinear el fondo de la flecha del cable con los bordes superiores de las tablas. Una ventaja de este método es que al dejar las tablas clavadas a los postes, es fácil ver más tarde si la flecha se ha aumentado con el tiempo, requiriendo ajustes. Eso es probable dado que los cables se estirarán con el tiempo por su propio peso.

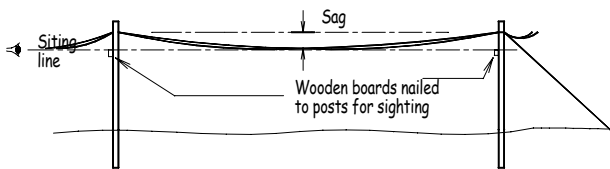


Figura 14-6 Medición de flechas por vistas (tablas cortas)

Para claros largos entre postes, se puede utilizar el método de tensionado de los cables por la "onda de retorno". Este método está descrito en el Mini-Grid Design Manual (ver Página 20-1).

Unión de cables

Tramos de cables pueden ser unidos por medio de conectores de presión o por amarres de las hebras (ver Figura 14-7)

Los conectores de presión consisten en un tubo o empalme metálico compresible que desliza sobre las puntas de los cables conductores y después se comprime fuertemente con una prensa especial. Para esta técnica, es esencial utilizar los conectores correctos que corresponden al diámetro del cable y la prensa correcta que corresponde al tipo y tamaño del conector. Al usar el conector y la prensa correctos, el empalme debe ser capaz de soportar la plena tensión nominal del cable. Los conectores son baratos, pero para cables mayores de 6mm^2 de área seccional, las prensas son bastante caras.

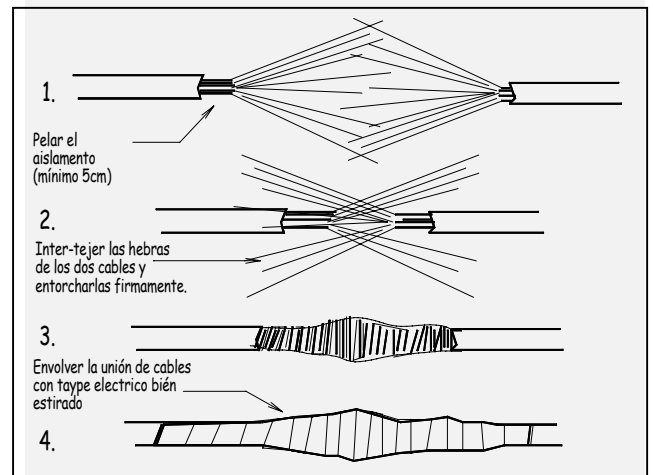


Figura 14-7 Entorchado de hebras para unir dos cables

Cables de cobre con forro aislante pueden unirse por amarres. Sin embargo, esos empalmes nunca sostendrán la tensión normal del cable. Ambos cables deben rollarse alrededor de un poste u otro herraje para evitar que el empalme quede expuesto a demasiada tensión. Con los amarres de cable alrededor del poste se forma un lazo de cable flojo donde puede estar el empalme.

Se recomienda utilizar cables con forro aislante de diferentes colores para ayudar en la identificación del cable vivo y el neutro. En caso que no hay diferentes colores de forro aislantes, se puede utilizar taye eléctrico de color al comienzo y al final de los rollos del cable que formará la línea viva. Eso permitirá identificar la línea viva durante la instalación.

Conexión de ramales al conductor principal

Cuando hay que conectar un cable de cobre con un cable de aluminio, se requiere de una mordaza bimetálica especial que separa los dos conductores, para evitar el ataque electrolítico que causaría deterioro del conductor de aluminio.

Otra técnica para unir los cables se demuestra en la Figura 14-8. Si el cable de distribución lleva forro aislante, se debe pelar el aislamiento con cuidado. Se aplica estaño a la unión de los cables con un cautín (preferiblemente de gaz), y después se vuelve a aislar la unión con taye.

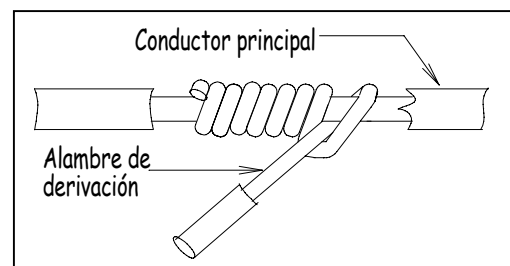


Figura 14-8 Un método apropiado para amarrar la acometida al cable principal de distribución.

Acometidas

El bajante o acometida conecta entre la línea principal y la casa. Para eso se deben hacer conexiones eléctricas buenas, firmes, y resistentes a la intemperie. Se pueden utilizar las mismas técnicas descritas para la conexión de los ramales a las líneas principales del sistema.

Un método conveniente y más rápido para conectar el bajante al conductor de cobre aislado es mediante un "empalme de derivación" de plástico (ver Figura 14-9. Estos accesorios están disponibles para varios calibres de cables desde 0.5mm² hasta 6mm². Proporcionan una alternativa segura y de bajo costo para la unión de cables. No hay necesidad de pelar el forro aislantes del cable visto que se garantiza el contacto eléctrico entre los cables cuando se cierra el empalme y se preme con un alicate. Es esencial utilizar empalmes de derivación del tamaño correcto para minimizar el daño a los cables y asegurar una buena conexión eléctrica.

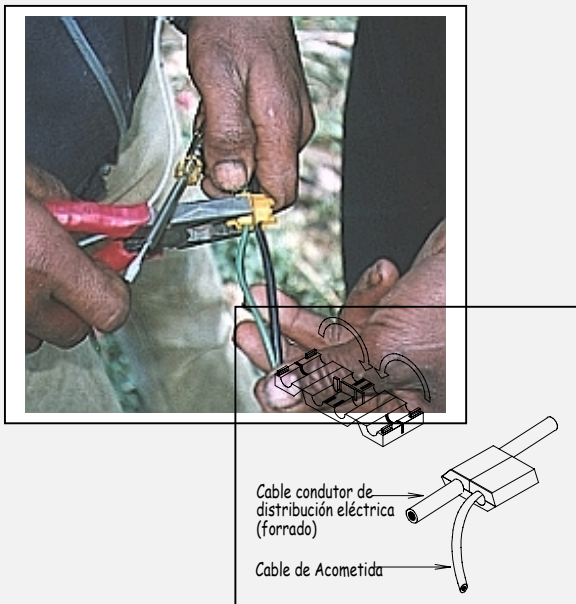


Figura 14-9 y Figura 14-10 Uso de un empalme para conectar la acometida al cable principal

14.7 Protección del sistema de distribución

Relámpagos

Es muy importante proteger el sistema de distribución de los relámpagos. Aún golpes indirectos a cierta distancia de los cables pueden causar la inducción de voltajes muy altos en los cables, lo cual puede dañar los equipos. Consultar

la Section 16.3 e incorporar las medidas recomendadas en las etapas iniciales de diseño del sistema de distribución.

Sobre-Corriente

Los cables están protegidos de corrientes altas (que pueden resultar de algún corto-circuito) sea por un Interruptor de Protección de Motor o un MCB (miniature circuit breaker) ubicado en el panel del controlador en la casa de máquinas. Los calibres mínimos de los cables están seleccionados conforme la corriente nominal de dicho dispositivo de protección, aunque los calibres de los cables usualmente serán mayores con el propósito de reducir las caídas de voltaje (ver Sección 14.8). Si hay varios ramales que parten de la casa de máquinas, es preferible instalar un MCB en cada ramal para poder aislar los ramales individualmente cuando sea necesario. Posiblemente se requerirán de MCBs adicionales en caso que la capacidad de amperaje de los cables más pequeños instalados en los extremos del sistema de distribución sea menor que los amperajes de los MCBs ya instalados.

Procedimiento para la instalación del sistema de distribución

- Paso 1 : En base a las recomendaciones para el espaciado entre postes, y el mapa que se dibujó del sistema de distribución, calcular la cantidad de postes que se van a necesitar y las posiciones de cada uno de los postes.
- Paso 2 : Calcular cuantos postes van a requerir de retenidas (incluyendo los postes de remates y los de ángulos (ver Figura 14-5).
- Paso 3 : Evitar de instalar cables de distribución a lo largo de filos altos del terreno, donde los riesgos de daños por vientos y rayos son mayores.
- Paso 4 : Covar los hoyos y tender los postes a lo largo de la ruta seleccionada.
- Paso 5 : Parar los postes con excepción de los que necesitarán cables de retenida.
- Paso 6 : Comenzando desde la casa de máquinas, utilizar el poste más grueso primero, y suspender el cable de cada poste en su turno. Si se está usando cable desnudo, asegurar que los cables estén correctamente instalados sobre los aisladores.
- Paso 7 : Buscar la ayuda de la gente para jalar y tensar el cable, consiguiendo la tensión aproximadamente correcta mientras se vaya instalando el cable en cada poste.

Paso 8 : Al final de cada recta, covar un hoyo y fijar el poste del extremo en su posición con su respectiva retenida.

Paso 9 : Medir las flechas y ajustar la tensión del cable a como requiera para que las flechas estén dentro de los límites especificados.

Paso 10 : Una vez que la red de distribución esté completo, conectar a las acometidas. Dejar un lazo de cable flojo donde la acometida entra al edificio. Eso evita que agua de lluvia corra por el cable y entre al edificio.

14.8 Selección de Calibres de los Cables

Los cables de un sistema de distribución usualmente son de diferentes diámetros en diferentes partes. Eso se debe a que ciertas partes del sistema llevan más corriente que otras y por lo tanto tendrán que ser de mayor dámetro. Sería desperdiciar dinero instalar cables gruesos en los ramales donde solo hay unas cuantas casas con cargas pequeñas conectadas.

área de sección (AS) de cables de cobre	capacidad de corriente (amperios)
1.0 mm ²	17A
1.5 mm ²	22A
2.5 mm ²	30A
4.0 mm ²	40A
6.0 mm ²	51A

Tabla 14-3 Capacidad de conducción de corriente de cables de cobre, forrados, al aire libre

Por medio del cálculo de las caídas de voltaje en distintas partes del sistema, será posible conocer los calibres correctos de cable a usar.

Explicación de caídas de voltaje:

La caída de voltaje del consumidor es la diferencia en voltaje entre él del generador y de la casa del consumidor. Esta diferencia se debe a la resistencia e inductancia del cable por lo cual fluye la corriente eléctrica. La caída de voltaje debido a la inductancia es un porcentaje pequeño y usualmente, para simplificar los cálculos, puede despreciarse, así que el cálculo de caída de voltaje se calcula usando la Ley de Ohmio:

$$\text{Volt (caída)} = \text{Corriente} \times \text{Resistencia (del cable)}$$

Una pequeña caída de voltaje es aceptable. Si el voltaje en una casa es demasiado bajo, sin embargo, las cargas eléctricas conectadas (p.e. lámparas de tubos flourescentes) no funcionarán correctamente. Un voltaje mínimo aceptable será de 6% por debajo del voltaje nominal nacional. Por ejemplo, si el voltaje nacional es de 220V, con una caída de voltajde del 6% el voltaje del consumidor sería:

$$220 - (0.06 \times 220) = 206.8 \text{ V}$$

A 207 V, cargas eléctricas diseñadas para 220V todavía funcionarán normalmente. Las casas más distantes del generador tendrán las caídas de voltaje más grandes visto que la corriente tiene que fluir por más cable para llegar a estas casas. Entonces escoger calibres de cable que aseguren un voltaje mínimo de 6% por debajo del voltaje nacional en las casas más lejanas del sistema. Eso mantendrá el costo del sistema de distribución en un mínimo y asegura que el voltaje en todas partes del sistema estará aceptable.

Ejemplo: Cálculo del % de caída de voltaje:

Voltaje del Generador = 220 Volts
 Resistencia del Cable = 0.0061 Ohmios por metro
 Longitud de la línea de distribución = 150 meters
 Longitud del Cable = 300 metres
 Corriente de carga = 5 Amps

Caída de voltaje = Corriente x Resistencia total del cable

$$= 5 \times (0.0061 \times 300) \\ = 9.15 \text{ Volts}$$

$$\% \text{ caída de voltaje} \\ = 9.15/220 \times 100 \\ = 4.1\%$$

Entre más casas tenga un sistema de distribución, más complejos se vuelven los cálculos de los calibres óptimos de los cables. El mejor procedimiento es de calcular cada ramal por separado. Sin embargo ésto requiere de mucho tiempo debido a la cantidad de cálculos que tienen que hacerse. Se han desarrollado programas computeríles que permiten hacer los cálculos con mucho más rapidez.

Nota: Subir el Voltaje del Generador para Ahorrar Dinero en la Compra de Cables
 Cuando sea posible subir el voltaje del generador al límite superior (es decir, hasta el voltaje nacional + 6%) se puede lograr ahorros aún mayores en los costos de los cables de distribución. El rango total de voltajes en el sistema en este caso sería desde +6% del voltaje nacional en el generador y -6% en la alimentación a la última casa del sistema. Por lo tanto se permite una caída total de voltaje del 12%. Eso significa que se podrá utilizar cables de diámetros menores mientras se mantengan las caídas de voltaje dentro de los límites aceptables.

Dos métodos de cálculo manual de los calibres de los cables de distribución se describen a continuación. Ambos métodos presumen valores relacionados con las ubicaciones de las cargas. Eso ayuda a reducir la cantidad de cálculos requeridos.

Tipo de Cable	AS por hebra mm ²	AS total del cable mm ²	Ohmios / 1km	Costo: US\$/m
Cobre con Forro Aislante				
3,20	0.6567	1.9701	8.63	0.09
7,22	0.397	2.779	6.12	0.15
7,20	0.6567	4.5969	3.70	0.19
7,18	1.1675	8.1725	2.08	0.33
7,16	2.0755	14.528	1.17	0.69
Aluminio (ACSR) AS en mm² equivalente al cable de cobre				
Squirrel	-	13	1.31	0.16
Gopher	-	16	1.06	0.20
Weasel	-	20	0.85	0.24
Rabbit	-	30	0.57	0.37
Dog	-	55	0.31	0.67

Añadir US \$0.11 por metro al ASCR para tomar en cuenta los costos promedios de estribos D y aisladores

Tabla 14-4 Muestra de especificación de cables, Nepal

Método 1: Cargas de los consumidores agrupadas al final de los ramales de distribución
 Este método tiende en sobre-dimensionar los cables porque se está sobre-estimando levemente la corriente. El cable entonces resulta más caro que lo absolutamente necesario. Sin embargo, este método es el más claro y sencillo para lograr un diseño rápido de un sistema de distribución.

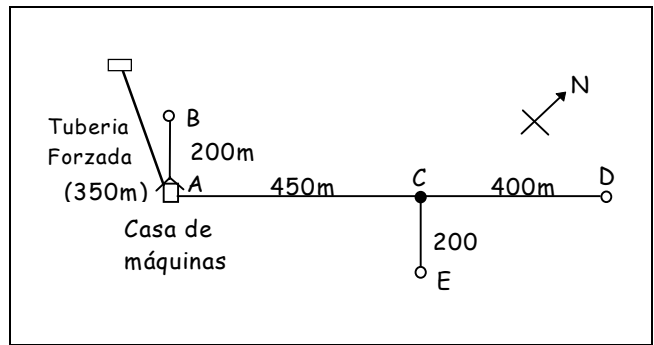


Figura 14-11 Sistema de distribución con cargas concentradas en los extremos de los ramales de servicio.

Consideremos el sistema de distribución sencillo de la Figura 14-11. Las cargas han sido agrupadas en los nodos B, D y E, y se han medido con cuidado las distancias desde la casa de máquinas (A) y el nodo C hasta estos nodos de servicio. Solo falta seleccionar los calibres de cables que darán caídas de voltaje aceptables en los nodos de servicio B, D y E, y de esta manera minimizar los costos de los cables.

Cuál es el mejor cable a usar si

- la carga en cada nodo de servicio (B,D y E) es de 1kW monofásico,
- el voltaje nominal es 220V, y
- el factor de potencia es 1 (para una explicación del factor de potencia, ver Anexo A)

A-B

Corriente (I) fluyendo entre A-B (usando $I=P/V$)
 $1000/220 = 4.545$ Amps

a) Tantear cable de cobre forrado 7,16 (verse Tabla 14-4)

El largo total del conductor requerido es $2 \times 200m = 400m$. Resistencia (Ohmios por metro) = 0.0012

Resistencia Total del Cable = longitud \times resistencia por metro

= $400 \times 0.0012 = 0.48$ Ohmios

Costo del Cable = $400 \times 0.69 =$ US \$276

Caída de Voltaje = $I \times R = 0.48 \times 4.545 = 2.18V$

% Caída de Voltaje = $(2.18/220) \times 100 = 1\%$.

Visto que estamos queriendo obtener una caída de voltaje total del 12% del valor nominal (ver Nota, P.14-9), este cable obviamente puede ser de un diámetro menor

b) Tantear cable de cobre forrado 7,22 (verse Tabla 14-4)

Resistencia del Cable = $400 \times 0.0061 = 2.44$ Ohmios

Costo del Cable = $400 \times 0.15 = \text{US } \60

Caída de Voltaje = $2.44 \times 4.545 = 11.08\text{V}$

El porcentaje de caída de voltaje es 5% lo cual está siempre dentro de los límites aceptables. Mayor reducción del calibre del cable se hace impráctico porque la resistencia mecánica de cables más delgados sería inadecuada para resistir el tensionamiento.

A-C

Aunque no hay carga conectada directamente en el nodo C este cable requiere seleccionarse por separado, visto que la corriente que fluye en él es distinto de las corrientes que fluyen en los tramos C-D y C-E. La caída de voltaje en el tramo A-C deberá sumarse a la caída de voltaje de los tramos C-D o C-E. La meta es que la caída de voltaje total al extremo de cualquiera de las líneas no sobrepasa del 12%.

a) Tantear cable de cobre forrado 7,22

Resistencia del Cable = $900 \times 0.0061 = 5.49$ Ohmios

Costo del Cable = $900 \times 0.15 = \text{US } \135

Corriente de la Línea = Carga Conectada / Voltage Nominal

$$= 2000 / 220 = 9.09 \text{ A}$$

Caída de Voltaje = $5.49 \times 9.09 = 50 \text{ V}$

Porcentaje de caída de voltaje = 22.7% así que el diámetro de este cable no es adecuado y deberá escogerse otro cable de calibre mayor.

b) Tantear cable Squirrel ACSR (ver Tabla 14-4)

Resistencia del Cable = $900 \times 0.0013 = 1.17$ Ohmios

Costo del Cable = $900 \times 0.16 = \text{US } \144

Corriente de la Línea = Carga Conectada / Voltaje Nominal

$$= 2000 / 220 = 9.09 \text{ A}$$

Caída de Voltaje = $1.17 \times 9.09 = 10.63 \text{ V}$

Porcentaje de caída de voltaje = $(17.2/220)*100 = 4.8 \%$. Esto se suma a la caída de voltaje calculada para los tramos C-D y C-E

C-D Tantear cable de cobre forrado 7,20 (ver Tabla 14-4)

Resistencia del Cable = $800 \times 0.0037 = 2.96$ Ohmios

Costo del Cable = $800 \times 0.19 = \text{US } \152

Corriente de la Línea = Carga Conectada / Voltaje Nominal

$$= 1000 / 220 = 4.54 \text{ A}$$

Caída de Voltaje = $2.96 \times 4.545 = 13.45 \text{ V}$

% caída de voltaje = $(13.45/220)*100 = 6.1 \%$

Caída Total de Voltaje A-D = $4.8 + 6.1 = 10.9 \%$

C-E Igual a A-B (carga de 1kW y longitud de 200m)

Caída de Voltaje = 5%

Costo del Cable = US \$60

Caída Total de Voltaje A-E = $5.0 + 6.1 = 11.1\%$

Comparación de Costos

Se comparan los costos de varias opciones para este sistema de distribución.

1) Usando todo cable de cobre forrado 7,16
 = $(200 + 200 + 450 + 400)*2 = 2500 \times 0.69$
 = US \$1725

2) Usando todo 'squirrel' ACSR= $2500 \times 0.16 + 1250 \times 0.11$ (0.11 = costo de estribos D y aisladores por metro sobre el tramo, es decir sobre la mitad de la longitud del cable)
 = US \$537.50

3) Usando conductores de varios tipos a como se calcularon arriba:

A-B = US \$60 (Cu)

A-C = US \$144 + $450 \times 0.11 = \text{US } \193.50 (ACSR)

C-D = US \$152 (Cu)

C-E = US \$60 (Cu)

Total para los 3 tramos) = US \$465.50

Obviamente si las cargas cambian, habrá que recalcular todo en base a los nuevos valores de corrientes que habrán en cada tramo. Aunque este proceso consume tiempo, especialmente para sistemas de distribución más complejos, la planificación cuidadosa en las etapas iniciales de diseño del proyecto será compensada con ahorros significantes en los costos.

Método 2: Cargas de los Consumidores Espaciadas de Forma Igual

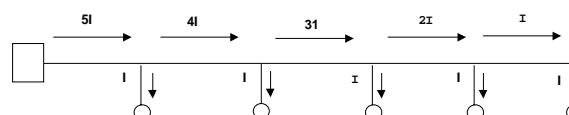


Figura 14-12 Consumidores espaciados iguales

El segundo método para el cálculo de caída de voltaje supone que las cargas conectadas a un ramal estén espaciadas de forma igual por toda la longitud del ramal. Este método es un poco más complicado que el anterior pero probablemente dará una representación más exacta del panorama de caídas de voltaje que habrán en el sistema.

La corriente I , se supone igual para cada casa. Se calcula la corriente dividiendo la potencia total disponible (asumiendo pérdidas del 6% de la potencia del generador en el sistema de distribución) por el voltaje nominal y después por la cantidad total de casas. Se supone que cada casa tendrá una carga idéntica, y que estén ubicadas a distancias iguales sobre cualquier tramo de las líneas de distribución, a como se ve en la Figura 14-12 La caída total de voltaje al final de la línea puede calcularse a como sigue:

$$V_{caída} = (5+4+3+2+1) I \cdot R1$$

Donde, $R1$ = largo del cable (2 x distancia entre casas) x resistencia del cable por metro

Re-analizando el ejemplo anterior por este método, y presumiendo que cada carga de 1kW consiste en realidad de 10 casas con distancias iguales entre ellas, y que se instalarán los mismos tipos de cables a como se definieron en la Opción 3 arriba (conductores variados) entonces las caídas de voltajes son las siguientes:

$$I = 100/220 = 0.4545$$

$$\underline{A-B} : R1 = 2 \times 200/10 \times 0.0061 = 0.244$$

$$\begin{aligned} V_{caída} &= (10+9+8+\dots+1) \times 0.4545 \times 0.244 \\ &= 6.1V = 2.8\% \end{aligned}$$

A-C : Igual que en el método anterior dado que no hay cargas conectadas en este tramo.

$$\begin{aligned} V_{caída} &= 1.17 \times 9.09 \\ &= 10.63 V = 4.8\% \end{aligned}$$

$$\underline{C-D} : R1 = 2 \times 400/10 \times 0.0037 = 0.296$$

$$\begin{aligned} V_{caída} &= (10+9+8+\dots+1) \times 0.4545 \times 0.296 \\ &= 7.4V = 3.3\% \end{aligned}$$

$$\underline{C-E} : R1 = 2 \times 200/10 \times 0.0061 = 0.244$$

$$\begin{aligned} V_{caída} &= (10+9+8+\dots+1) \times 0.4545 \times 0.244 \\ &= 6.1V = 2.8\% \end{aligned}$$

Basado en estos valores de caídas de voltaje, que son mucho menores que los calculados por el método anterior, se podrá re-valorar los requerimientos de calibres de los cables del sistema de distribución.

Nota: Se ha creado una hoja de cálculo en Excel para permitir el diseño de sistemas de distribución eléctrica para aldeas con mayor facilidad. Para obtener una copia de esta hoja de cálculo, favor contactarse con la dirección de redacción:
(Dirección de Email: phillip.maher@ntu.ac.uk)

14.9 Diseño de sistemas de distribución para alimentar a Talleres

Se ha incluido este inciso para demostrar el procedimiento para la especificación y conexión de cargas de motores a un pequeño generador de inducción. El ejemplo presentado trata de un taller, pero los mismos principios de diseño son válidos para cualquier carga de motor que se piensa conectar al sistema de distribución eléctrica.

Ejemplo

En una aldea hay un sitio con potencial de generar 4.4kW de potencia eléctrica mediante un proyecto pico hidro. La idea es de utilizar parte de la electricidad para iluminación en la noche. Algunos de los miembros de la comunidad también tienen fuerte interés en construir un taller de carpintería para la elaboración de muebles. Eso podrá ser muy útil visto que proporcionaría carga al sistema durante horas del día y aumentaría los ingresos generados por el proyecto pico hidro.

Los carpinteros idealmente quisieran operar la maquinaria siguiente

- sierra de banda sin fin
- cepilladora
- torno
- sierra circular
- taladro de poste
- taladro manual
- piedra esmeril

La comunidad está conciente que la potencia mecánica producida por la turbina es mayor que la potencia eléctrica, y que sería conveniente que la maquinaria de carpintería fuera movida directamente por la turbina con transmisiones por poleas y bandas. Desafortunadamente las laderas del valle son muy inclinadas y la área plana para la construcción de la casa turbina cerca del río es muy

pequeña. Además el acceso al sitio de la turbina para la introducción de madera para los trabajos de carpintería sería difícil si se construyera el taller contiguo a la turbina. Se ha escogido un terreno ubicado 200m cuesta arriba del sitio del generador que se considera apto para la instalación del taller. Sin embargo, eso significará que las máquinas del taller tendrán que ser movidos por motores eléctricos.

Los carpinteros quieren saber lo siguiente:

- 1) ¿Cuáles de las máquinas de la lista podrán funcionar?
- 2) ¿Cuánto será el costo del cable necesario para alimentar al taller desde el generador?
- 3) ¿Cuáles otras consideraciones afectarán al proyecto del taller?

Respuesta

1) ¿Cuáles máquinas podrán funcionar?

Todas las máquinas en la lista pueden funcionar, con tal que se seleccionen los equipos con cuidado. Pequeñas máquinas para talleres usualmente son movidas por motores mono-fásicos. La alimentación monofásica es la más fácil de generar y por tanto la más apropiada para la transmisión de la electricidad desde el generador hasta el taller. Antes de especificar el calibre de cable, investigue qué tipos de máquinas para talleres están disponibles las cuales funcionan con potencia mono-fásica.

Motores eléctricos solo hasta ciertos tamaños pueden conectarse a un pequeño generador de inducción (ver Section 13.3). Es importante conocer los requerimientos de corriente de arranque de los motores, para asegurar de no se sobre-cargue al generador. Por lo general, ninguna de estas máquinas tiene que arrancar con carga cuando se enciendan. Se ponen a trabajar solo cuando hayan alcanzado la velocidad normal de operación. Por esto se clasifican como cargas de "bajo torque de arranque", y pueden especificarse con hasta un 20% de la capacidad de suministro.

Capacidad de suministro = capacidad del generador - pérdida de potencia en el cable de distribución.

Suponer que habrá una pérdida de potencia del 6%, entonces seleccionar el cable para que entregue la potencia con una caída de voltaje no mayor que el 6%.

Capacidad de suministro = 4.4kW - 6% = 4.1kW

Así que el motor más grande que puede ser conectado en el taller para mover alguna de las máquinas es

$$20\% \times 4.1\text{kW} = 820\text{W}$$

Por ejemplo, máquinas que tengan motores de inducción de hasta 1 Hp (750W) podrán operar exitosamente con el generador de esta planta pico hidro.

Las herramientas portátiles manuales no usan motores de inducción y muchas veces pueden funcionar en tamaños hasta el 25% de la potencia nominal del generador. Por ejemplo, se podría usar un taladro eléctrico manual de 1 kW en el taller.

2) ¿Cuánto será el costo del cable necesario para alimentar al taller desde el generador?

El cable de distribución requerido es de 200m de longitud. Toda la carga estará ubicada en el extremo del cable, y se permitirá una caída de voltaje del 6%.

Suponer que toda la potencia producida por el generador puede estar en algún momento consumida por las cargas del taller de carpintería. Los motores son pequeños en relación al generador, pero se desconocen sus factores de potencia. Calcular la corriente máxima que puede ser suplida por el generador a su voltaje nominal, y usar este valor de la corriente para seleccionar el cable.

$$\begin{aligned} \text{Corriente máxima del generador (a 240V)} \\ = 4400 / 240 = 18.3\text{Amps} \end{aligned}$$

El largo del cable es de 200m x 2 (fase y neutro) = 400m

De la Tabla 14-4, seleccionar el cable Squirrel (este es el cable más pequeño de ASCR), y calcular la caída de voltaje:

$$\text{Resistencia del Cable} = 400 \times 0.0013 = 0.52 \text{ Ohmios}$$

$$\text{Caída de Voltaje} = 0.52 \times 18.3 = 9.5 \text{ V}$$

$$\text{Porcentaje de caída de voltaje} = (9.5/240) \times 100 = 4\%$$

$$\begin{aligned} \text{Costo del Cable} &= 400 \times 0.16 + 200 \times 0.11 \\ (\$0.11 = \text{costo promedio de estribos D y aisladores} \\ &\text{por metro de cable}) \\ &= \text{US } \$86 \end{aligned}$$

3) ¿Cuáles otros factores afectarán al proyecto del taller?

Otros factores a considerar son los siguientes:

- No proceder a comprar las máquinas para el taller de carpintería hasta que se haya instalado la turbina y el generador y se haya verificado la salida eléctrica del generador.
- No arrancar las máquinas simultáneamente, visto que el requerimiento de potencia en el momento de arranque puede sobre-pasar la capacidad del generador y disparar la protección por sobre-carga en la casa de máquinas. Los motores tendrán que arrancarse uno por uno, esperando que cada motor alcance a su velocidad normal de operación antes de encender a otro motor.
- Corregir los factores de potencia de los motores a como se explicó en la Section 13.3.
- El motor de cada máquina se conecta a la alimentación eléctrica a través de un breaker (interruptor automático de corriente). Eso protegerá los embobinados de los motores contra corrientes altas. Se deberá instalar a cada motor un MCB del tipo que es para arranque de motores, para un amperaje un poquito mayor que el amperaje nominal del motor. Interruptores de protección de motores, del tipo ajustable, también podrían usarse (ver Figura 9-12). Estos permiten el ajuste de la corriente de disparo al amperaje exacto del motor, proveendo la máxima protección posible contra sobre-cargas del motor. Usar Tabla 14-5 como guía para alimentación a 240V. Normalmente no se instalan breakeres para las herramientas manuales. Estas son protegidas por una unidad del consumidor que incluye un MCB de capacidad apropiada y un enchufe c/ fusible.

Tamaño de Motor	Rango de amperaje de los MCB requeridos (240V)
1/3 HP (250W)	2 - 4 Amps
1/2 HP (375W)	2 - 4 Amps
2/3 HP (500W)	2 - 4 Amps
3/4 HP (560W)	4 - 6 Amps
1 HP (750W)	4 - 6 Amps

Tabla 14-5 Amperajes nominales de interruptores de protección de motores (MCB) para distintas potencias de motores.