

# 11 LA TUBERIA FORZADA

- 11.1 Como funciona la Tubería Forzada
- 11.2 Selección de la Tubería Forzada
- 11.3 Conexión de la Tobera
- 11.4 Instalación de la Tubería Forzada

## 11.1 Como funciona la Tubería Forzada

La tubería forzada es simplemente un tubo largo que se llena de agua. El peso del agua en el tubo proporciona la presión en la tobera requerida para girar la turbina. Esta tubería puede conducir directamente desde la fuente de agua hasta la turbina, o puede comenzar del extremo de un canal que trae el agua más cerca a la turbina, ahorrando el costo de tuberías largas. Se conecta un filtro al extremo de la toma de agua, y en el extremo donde la turbina se instala una válvula para abrir y cerrar el pase de agua. Aguas abajo de la válvula hay una tobera que concentra el agua en un chorro a alta presión.

## 11.2 Selección de la Tubería Forzada

Muchas veces la tubería forzada es la parte más cara de un proyecto pico hidro. Por lo tanto que se selecciona con cuidado.

Hay tres consideraciones fundamentales cuando se escojan las tuberías a comprar para la tubería forzada :

- el material
- el diámetro interior - depende de la longitud total y el caudal.
- la presión nominal - depende del desnivel neto

### La Presión Nominal

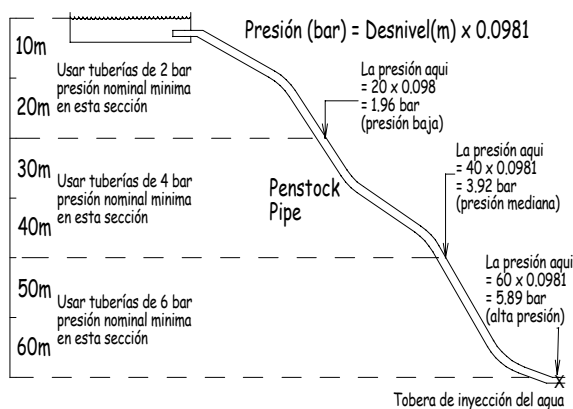


Figura 11-1 Presión nominal de la tubería forzada

Se diseña la tubería forzada para conducir el agua hacia la turbina de manera segura y eficiente. Entre más alta la presión, se requiere tener la pared más gruesa, lo cual aumenta el costo. La presión del agua en la tubería forzada depende del desnivel. Si se instalan tuberías de presiones nominales demasiado bajas, hay riesgo que el tubo ruptore. Si se instalan tuberías de presiones nominales demasiado altas, se estaría desperdiciando dinero. La tubería forzada ideal será de baja presión cerca de la toma de agua, y de pared más gruesa cerca de la tobera donde la presión es mayor.

### Especificación de la presión nominal correcta

La presión que existe en cualquier punto de la tubería, puede ser fácilmente calculado si se conoce el desnivel existente en ese mismo punto. Referirse a la Figura 11-1 para entender como la presión en la tubería varía como función del desnivel.

Las tuberías de plástico se venden ya incorporado un factor de seguridad de entre 1.5 y 2.5 para compensar oleadas de presión. Eso significa que las tuberías pueden utilizarse hasta la presión nominal dada por el fabricante (con tal que se hagan correctamente las uniones entre los tubos y que la tubería se entierre y se ancle firmemente). La válvula de control ubicada aguas arriba de la tobera deberá de abrir y cerrarse lentamente para minimizar las oleadas de sobre-presión. Si se siguen estas recomendaciones y se utilizan las tuberías hasta las presiones nominales dadas por el fabricante, entonces se logrará minimizar los costos sin comprometer la seguridad.

### La importancia del diámetro de la tubería

El diámetro es importante porque afecta la potencia disponible a la turbina. Entre mayor el diámetro habrá más potencia. Aunque el tubo puede aparentar ser liso, tiene cierta rugosidad en la superficie que retrasa el flujo del agua. Este retraso se llama "pérdida por fricción". La pérdida por fricción se expresa en metros de pérdida de desnivel, y aumenta cuando aumenta la velocidad del agua. La velocidad del agua y las pérdidas por fricción aumentan cuando se aumenta el diámetro de la tobera y también cuando se disminuya el diámetro de la tubería. Las pérdidas por fricción también se aumentan en proporción con la longitud de la tubería. Cuando se utiliza un tubo de mayor diámetro las pérdidas por fricción se disminuyen pero los costos aumentan sustancialmente. Típicamente, al duplicar el diámetro de la tubería el precio aumenta en un factor de cuatro. A la misma vez la pérdida por fricción se reduce en un factor de 30!

### Selección del Diámetro Óptimo

Primero, hay que conocer el caudal requerido por la turbina. Esta información deberá ser suplida por el fabricante de la turbina. Sino, usar el método de cálculo de caudal basado en el diámetro de la tobera, descrito en el manual complementario para la fabricación y ensamblaje del Pico Power Pack. También se necesitará conocer el largo total de la tubería requerida (la distancia de la ruta de la tubería desde la cámara de carga hasta la turbina) y el desnivel total disponible.

Ver la Table 11-1. Primero buscar el caudal más cercana al caudal requerida en la columna a la izquierda. Se recomienda permitir pérdidas por fricción del 15%-20% del desnivel total, para optimizar hasta donde sea posible los factores de pérdidas y costos. Todas las pérdidas por fricción están dadas por cada 100 metros de la tubería. Estas cifras deberán multiplicarse por [el largo requerido de las tuberías / 100 metros] para sacar un estimado del las pérdidas totales en la tubería forzada del proyecto. Las pérdidas totales normalmente no deberán ser más del 25% del desnivel total disponible. Si las pérdidas por fricción son del 20%, entonces el desnivel neto será el 80% del desnivel bruto :

Desnivel NETO (disponible a la turbina)  
= Desnivel BRUTO (desnivel total)  
- pérdidas por fricción

A veces hay que considerar diseñar para pérdidas diferentes del 20%. Por ejemplo, si el desnivel bruto disponible en el sitio es apenas suficiente para operar la turbina, entonces una tubería forzada con solo 10% de pérdidas por fricción podría considerarse. Si en otro caso el desnivel es más que suficiente, y la distancia entre la cámara de carga y la turbina es larga, se podrían tolerar pérdidas del 30%, si con eso se lograra un ahorro sustancial en los costos y todavía se supliera potencia suficiente para cubrir la demanda de los usuarios.

#### Example : Selección del diámetro de la tubería forzada

a) ¿ De cuánto es el diámetro para la tubería forzada que dará pérdidas por fricción de aproximadamente 20% y resultará lo más económico ? Se conocen los siguientes datos:  
La turbina seleccionada requiere un caudal de 6 litros por segundo.

El desnivel bruto es de 70 metros.  
La tubería forzada tendrá 300 metros de longitud.

Respuesta:

Se busca tener pérdidas de aproximadamente 20% de los 70 metros de desnivel bruto disponible.

$$70 \times 0.20 = 14 \text{ metros}$$

Los valores de pérdidas en la tabla son dados por cada 100m de longitud. Requerimos de 300 metros entonces los valores de la tabla deberán multiplicarse por

$$300/100 = 3$$

Bajandonos por la columna que corresponde a un caudal de 6 l/s, calculamos las pérdidas totales:

$$300 \text{ m de tubo de } 50\text{mm diam} = 3 \times 17.07 = 51.21 \text{ metros}$$

$$300 \text{ m de tubo de } 63\text{mm diam} = 3 \times 5.48 = 16.44 \text{ metros}$$

$$300 \text{ m de tubo de } 75 \text{ mm diam} = 3 \times 2.36 = 7.08 \text{ metros}$$

Obviamente la mejor selección es el tubo de 63mm (2.5") diámetro, lo cual da pérdidas cercanas a los 14 metros

b) En caso que solo están disponibles tuberías HDPE de 100mm y 50mm diámetros, ¿ cuál será la combinación más económica ?

Respuesta:

80 metros de tubería de 50mm diámetro (para el tramo de alta presión)

$$= 0.8 \times 17.07 = 13.6 \text{ metros de pérdidas}$$

220metros de tubería de 100mm (para el tramo de baja presión)

$$= 2.2 \times 0.58 = 1.28 \text{ metros de pérdidas}$$

Pérdidas totales por fricción = 13.6 + 1.28

$$= 14.9 \text{ metros}$$

#### Materiales de la Tubería

Para los proyectos pico hidro, la tubería forzada usualmente es de plástico. En muchos países se utilizan tuberías HDPE, "High Density Polyethylene", (polietileno de alta densidad). Es particularmente apropiado porque es flexible y también resistente a la intemperie. Usualmente es de color negro. Esta manguera, en diámetros hasta 75mm (3") es lo suficientemente flexible para enrollarse, lo cual facilita el transporte. Diámetros internos nominales comunes utilizados en proyectos pico hidro son de 50mm, 63mm, 75mm, 90mm, 100mm y 110mm.

Otros materiales para tuberías son el PVC "Polyvinyl-chloride" (cloruro de polivinilo) y el acero. El PVC está disponible para uso en instalaciones domiciliarias de aguas de drenaje. Sin embargo, los tubos y accesorios de PVC para uso

domiciliar son para presiones nominales bajas solamente, y por lo tanto no apropiadas para tuberías forzadas. Tubos PVC de baja presión son apropiados para uso en la cámara de carga (para los tubos de limpieza y de rebose). Los tubos de acero comunamente se utilizan en proyectos hidros más grandes cuando los caudales y las presiones son mayores. Los tres tipos de materiales se ven comparados en la Tabla 11-1.

### 11.3 Conexión de la Tobera

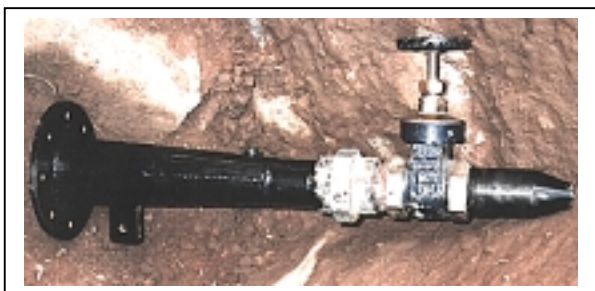


Figura 11-2 Reductor, válvula de gaveta, y tobera

Se recomienda la instalación de una válvula de gaveta para pasar y cortar el suministro de agua a la turbina. Estas válvulas son comunamente disponibles, y tardan para abrir o cerrarlas, lo cual reduce la posibilidad de ocurrencia de

"oleadas de presión" en la tubería forzada que la podría reventar. Este desastre por sobrepresiones es más propenso de ocurrir con válvulas "mariposa" y "globo" que son capaces de cerrarse rápidamente. Se deberá aplicar grasa al vástago de las válvulas de gaveta frecuentemente para evitar que la corrosión. La tobera de la turbina deberá tener rosca macho para permitir enroscarse dentro de la válvula. El fabricante deberá suplir la turbina con una válvula compatible. Es muy útil utilizar taye teflón (PTFE) o pasta de fontanero para lubricar e impermeabilizar las uniones roscadas. También al lado de la tubería forzada se deberá instalar una unión apropiada para conectar la tubería a la válvula. Pueden aprovecharse las roscas de un reductor, a como se ilustra en Figura 11-2 lo cual a su vez puede unirse a la tubería de mayor diámetro mediante un acoplamiento de flanges (ver Figura 11-10).

Caudal (l/s)	Diámetro Interior del Tubo (diámetro nominal)				
	50mm (2")	63mm (2.5")	75mm (3")	88mm (3.5")	100mm (4")
2.0	2.28m	0.75m	0.33m	0.15m	0.08m
4.0	8.03m	2.62m	1.13m	0.52m	0.28m
6.0	17.07m	5.48m	2.36m	1.09m	0.58m
8.0	29.09m	9.31m	3.97m	1.83m	0.98m
10.0	44.19m	14.05m	5.98m	2.73m	1.48m
12.0	61.9m	19.69m	8.38m	3.82m	2.05m

Tabla 11-1 Pérdidas por fricción por cada 100m de longitud de varios diámetros de tuberías plásticas a diversos caudales

Tubería (material)	Transporte al Sitio	Instalación	Uniones	Vida Útil	Rugosidad
HDPE	Diametros menores de 75 pueden enrollarse.	Facil, porque es flexible.	Requiere de destreza para fusionar las uniones.	Muy resistente a la intemperie.	Baja. No causa muchas pérdidas por fricción.
PVC	Tramos de 6 metros, solamente.	Más difícil porque es más rígido.	Fácil de unir con conectores y pegamento, pero costoso.	Deteriora si está expuesto al sol. Hay que pintarlo.	Baja. No causa muchas pérdidas por fricción.
Steel	Difícil en áreas remotas, debido	Rígido y pesado, por lo	Uniones empernados o soldados. No rentable	Oxida con el tiempo y requiere	Mediano en tubos nuevos. Empeora

Tabla 11-2 Comparación de Tuberías de Distintos Materiales

## 11.4 Instalación de la Tubería Forzada

### PASO 1 ESQUEMA PRELIMINAR



Figura 11-3 Entrega de secciones de tubo al sitio.

Confirmar que las tuberías entregadas al sitio son del tipo y largo correctos. Se deberá haber ya marcado la ruta de la tubería forzada desde la toma hasta la turbina, y limpiado la vegetación según se requiera. Tender las secciones de tubería sobre la ruta, para confirmar que la cantidad de tubería pedido sea la adecuada.

### PASO 2 PREPARACIÓN DE LA RUTA



Figura 11-4 Se puede colocar la tubería forzada en una zanja y tavarla con tierra cuando esté completa la instalación, para asegurarla

Se puede tender la tubería sobre el terreno con tal que se hayan removido obstáculos como piedras y ramas. Se toma cuidado para evitar la entrada de lodo, piedras o basura a los tubos. La tubería deberá seguir una ruta siempre cuesta abajo y en

ningún punto puede tener una elevación mayor que la elevación de la toma en la cámara de carga. En algunos puntos será necesario enterrar la tubería en zanja para mantener el declive correcto. En otros puntos será necesario apoyarla por encima de la superficie del terreno. La manera de hacer esto depende del diámetro del tubo y la elevación requerida por encima del terreno. Aquí se apreciará las ventajas de la manguera de polietileno; su flexibilidad la hace más fácil de instalar, comparado con las tuberías de PVC o de acero.



Figura 11-5 Tramos de tuberías que cruzan hondonadas en el terreno, tienen que estar apoyados a la elevación correcta.

Tubos de diámetros mayores de 75mm requieren de mejor apoyo que las tuberías de diámetros menores. Inicialmente se pueden usar palos y ramas para ayudar en apoyar las tuberías en las pasadas difíciles del terreno.



Figura 11-6 Los apoyos deberán ser debidamente reforzados antes de llenar la tubería con agua.

Pero antes de llenar la tubería con agua, será necesario construir apoyos más seguros, por ejemplo utilizando piedras y lodo.

### PASO 3 UNIONES DE LA TUBERÍA

Pueden unirse secciones de la tubería de polietileno HDPE por la técnica de fusión en caliente. Las herramientas que se requieren son una placa de acero de un diámetro un poco mayor que el diámetro de la tubería, y un accesorio para apoyar y tener las puntas de los dos tubos a unirse.



Figura 11-7 Se calienta la placa metálica en un fuego pequeño

Primero se calienta la placa de acero sobre las brasas de un fuego pequeño



Figura 11-8 Se apretan ambos extremos de la tubería contra la placa caliente.

Se insertan los extremos de los dos tubos en el accesorio, con la placa calentada en medio. Se mantienen fijas las dos puntas de los tubos, para que el plástico suavice de manera pareja.



Figura 11-9 Se remueve la placa y se apretan las dos puntas una contra la otra, para formar un cordón parejo todo alrededor del tubo.

Cuando se haya formado un anillo suave y parejo alrededor de ambas secciones de tubo, se remueve la placa y se apretan las dos puntas una contra la otra con fuerza suficiente para que el material suavizado se "sueda". Al obtener un cordón parejo de plástico soldado todo alrededor del diámetro, se sabe que la unión está bien hecha. No debe permitirse que los tubos se muevan hasta que la unión se haya enfriado completamente. El Teflon es un material resistente al calor y deslizante que se puede comprar en forma de tela o lámina. Se puede usar una bolsa hecha de teflon para cubrir la placa caliente para evitar que el plástico de los tubos adhiera al metal mientras suavice. La placa deberá calentarse a una temperatura de 220°C para suavizar el plástico de polietileno de alta densidad HDPE. Existen crayones (tiza) ['Thermochoc' en Nepal] que cambian de color cuando alcanzan la temperatura correcta. Se aplica un poquito del crayon a la placa metálica cuando se caliente. Sin embargo, la temperatura correcta de la placa también se aprende con la experiencia, visto que no siempre se dispone de los crayones.

#### PASO 4 CONEXIÓN A LA TOBERA DE LA TURBINA



Figura 11-10 Unión de tubería forzada con flanges

La unión entre la tubería forzada y la turbina es importante, porque ahí el agua tiene su presión máxima. A veces la tubería se conecta directamente a la válvula de gaveta de cierre del agua. Usualmente se requiere de un reductor visto que el diámetro de la tubería es mayor que el diámetro de la válvula. Un método apropiado para la conexión de una tubería de plástico a un reductor de acero se demuestra en la Figura 11-10. Un flange para tubería de polietileno HDPE, con un aro de acero, ha sido fusionado en caliente al extremo de la tubería forzada. El flange entonces puede ser firmemente empernado al reductor, instalándose también un empaque.

Se ha desarrollado un programa computeril en 'Excel' para facilitar el diseño de la tubería forzada y cálculos de pérdidas de presión en tramos de tuberías. Para obtener una copia del programa, favor contactarse con la dirección de redacción del manual actual.

## 12 La Casa De Maquinas

- 12.1 Construcción
- 12.2 Plan del Piso
- 12.3 Planificación de las Instalaciones.

### 12.1 Construcción



Figure 12-1 Una casa de máquinas típica, hecha de piedra, Nepal.

Una casa de máquinas bien diseñada protegerá a la turbina, el generador y demás equipos sobre su vida útil que deberá ser un mínimo de 15 años. El tipo de construcción de la casa de máquinas variará de acuerdo a la disponibilidad de materiales locales, las preferencias locales, y el clima. Sin embargo, téngase en mente que cortar costos haciendo una casa de máquinas insegura sería una "falsa economía" que resultaría en constantes reparaciones y mantenimiento de la casa o en la reducción de la vida útil del equipo turbo-generador. Por otro lado, una casa de máquinas demasiado elaborada resultaría en gastos innecesarios. Las siguientes recomendaciones ayudarán para la construcción de una casa apropiada tanto en costo como en calidad, para la mayoría de proyectos.

#### Cimientos:

- Una zanja para la cimentación del edificio deberá excavar hasta alcanzar roca sólida o hasta la profundidad de un metro. La cimentación (cadena) tendrá un ancho que será el doble del espesor de las paredes a construir. Areas suaves que se encuentran en el fondo de la zanja deberán ser cobadas y rellenados con piedra o con concreto. Se deberá emparejar y nivelar el fondo de la zanja hasta donde sea

posible. No se utiliza la tierra sacada de la zanja para el propósito de rellenos.

- Se procede a hacer la cimentación sobre la cual se construirán las paredes. La cimentación tendrá un ancho que sea el doble del de las paredes a construir, y tendrá forma de una grada a como se ve en la Figura 12-2. Materiales apropiados para la cimentación son el concreto, ladrillos, o piedra, dependiendo del material que se va a utilizar para la construcción de las paredes.

#### Piso:

- Se hace el piso por encima del nivel del terreno para evitar inundaciones del piso durante lluvias fuertes.
- Se embaldosa con concreto para asegurar cimientos seguros para la turbina y el generador.
- Se le da una leve pendiente hacia abajo hacia el canal de desfogue para drenar aguas que pueden fugar de la turbina o las tuberías.
- Se hace el piso con dimensiones adecuadas para permitir cómodo acceso alrededor de la turbina, el generador, y el controlador, y los equipos de transmisión mecánica tales como molinos, etc., previstos de instalar

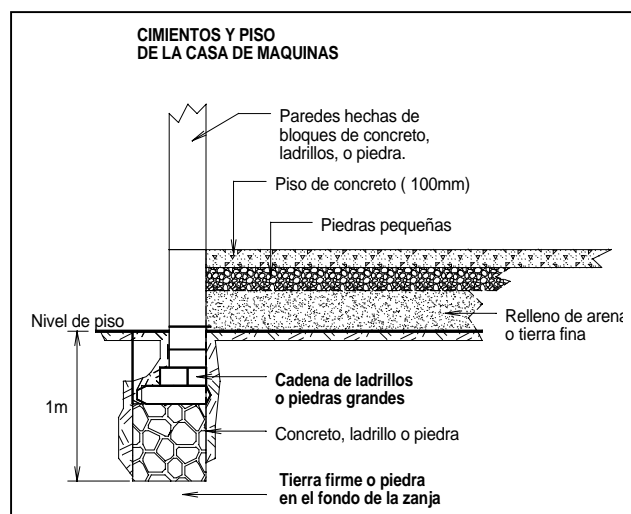


Figura 12-2 Sección de los cimientos y el piso

#### Paredes:

- Deberán ser de un mínimo de 2m de alto, y construidas para permitir instalar un techo inclinado.
- Las paredes tendrán un espesor adecuado para garantizar buena protección de las tormentas. En la construcción de las paredes se prevén los montajes de la caja del controlador, equipo de lastre, caja de los capacitores etc. Se pueden instalar paneles de madera o estantes.

**Ventanas:**

- Son esenciales para proporcionar luz y ventilación.
- No se construyen de cara hacia los vientos.
- Deberán de asegurarse con malla metálica o contraventanas de madera para evitar la entrada de personas sin autorización. No requieren de vidrios.
- El área de las ventanitas deberá ser de 1m<sup>2</sup> por cada 10m<sup>2</sup> de piso.

**Puerta:**

- Deberá abrirse hacia afuera para mayor seguridad y deberá ser enllavable.
- Deberá ser lo suficientemente grande para permitir introducir todos los equipos presentes y futuros.
- Deberá evitar la entrada de agua de lluvias.

**Canal de Desfogue:**

El canal de desfogue se reviste de concreto hasta una profundidad de 100mm adentro de la casa de máquinas

El revestimiento de concreto debe de extender un mínimo de un metro afuera de la casa de máquinas y ser impermeable para proteger los cimientos de la casa de máquinas



Figura 12-3 Casa de máquinas en vías de construcción, Nepal

**Techo:**

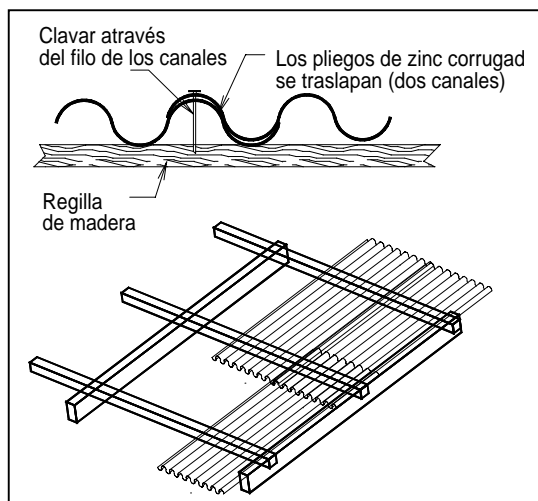


Figura 12-4 Técnicas recomendadas para el ensamblaje de techos de lámina de hierro galvanizado

- El techo tiene que ser impermeable e inclinado para mejorar el drenaje de las lluvias.
- Deberá ser preferiblemente de un material a prueba de fuego tal como tejas de arcilla o láminas de hierro galvanizado, y definitivamente no puede pasar filtraciones de agua de lluvias.
- Deberá tener aleros que extienden más allá de las paredes, para evitar la entrada de agua por las ventanitas.
- Se deben dejar aperturas de ventilación debajo de los aleros para la circulación de aire cuando las ventanitas estén cerradas

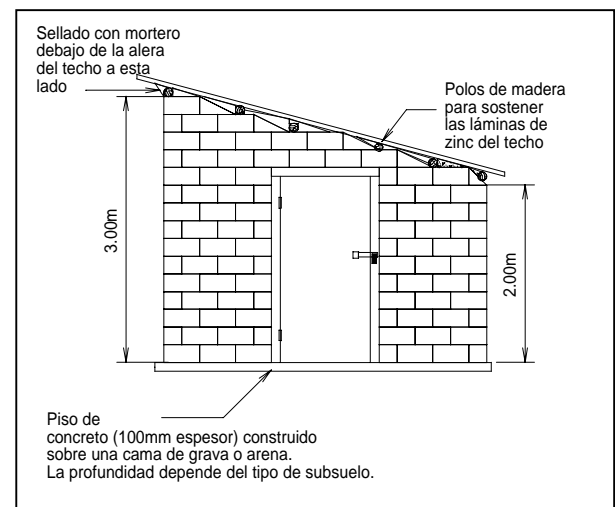


Figura 12-5 Técnicas recomendadas para la construcción de la casa de máquinas

**12.2 Plan del Piso**

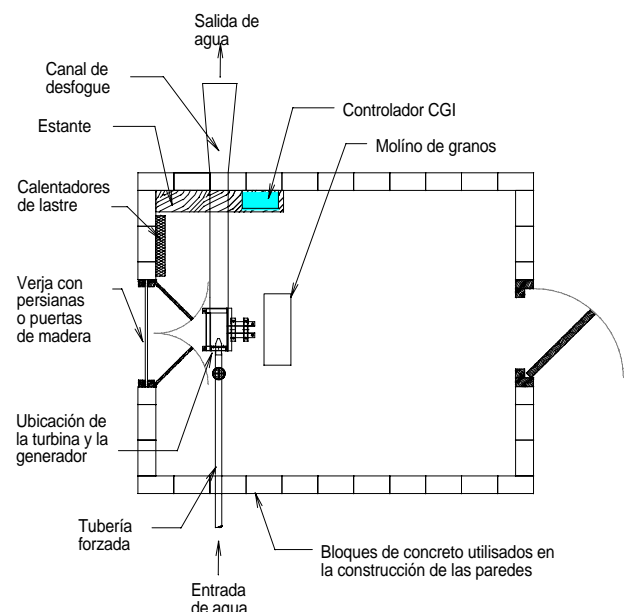


Figura 12-6 Idea de plan de piso para una casa de máquinas

## 12.3 Planificación de las Instalaciones.

1. Planificación	2. Preparación	3. Construcción y Ensamblaje	4. Conexiones	5. Pruebas	6. Puesta en Servicio
Finalizar el diseño, especialmente la definición de ubicaciones de la casa de máquinas, cámara de presión o reservorio y la captación	Colocar pedidos por los materiales tomando en cuenta posibles modificaciones de último momento. Recibir y guardar los materiales en bodega en el sitio	Tender la tubería forzada por la ruta, viendo como cruzar las pasadas difíciles donde hay piedra o hondonadas en el terreno	Instalar la tubería forzada y conectarla a la válvula de control de agua.		
Hacer ajustes finales al diseño, estaquear posiciones de la casa de máquinas, tubería forzada, cámara de presión o reservorio.	Limpiar la ruta para la tubería forzada a través de la vegetación, y covar una zanja si se requiere	Ubicar la captación y covar el canal si se necesita, o tubería de baja presión según se requiera.	Hacer anclas y apoyos a la tubería forzada donde se requiera, y tapar con tierra si la tubería es de PVC		
Asegurar que hay suficiente pendiente para que el agua fluya desde la captación a través del canal o tubería de baja presión, hasta la cámara de presión	Limpiar el sitio y construir los cimientos de la casa de máquinas, tomando en cuenta posiciones de turbina y generador. Tomar en cuenta el polo a tierra.	Instalar la base de la turbina y generador en el piso de la casa de máquinas, y las bases de los equipos de transmisión mecánica si hay.	Revestir la cámara de presión y reservorio según se necesita con piedra y cemento, y terminar los trabajos de construcción en la obra de toma.	Verificar y eliminar fugas de la tubería forzada y/o la válvula.	
	Hacer ajustes finales en la posición de la cámara de presión y/o reservorio	Construir las paredes y el techo de la casa de máquinas	Conectar los capacitores de excitación, el controlador de carga, el lastre, y dispositivos de protección del generador	Probar la turbina y el generador para verificar que funcionan correctamente.	Tapar la tubería forzada con césped o tierra
	Identificar una ubicación conveniente para el polo a tierra adentro o cerca de la casa de máquinas	Hacer excavación e instalar el polo a tierra, conectar el cable del polo a la casa de máquinas		Verificar la correcta operación del controlador y el lastre.	Entrenar los operadores y administradores
				Probar que los equipos de las cargas mecánicas operan bien	Resolver cualquier problema con las conexiones domiciliarias.
<b>Sistema de Distribución</b>					
Chequear el plano del sistema de distribución, confirmar largos y calibres de los cables antes que se reciban.	Instalar los cables del sistema de distribución eléctrica y los postes donde se requieran	Instalar las cargas domiciliarias y los limitadores de carga. Conectar las acometidas al sistema de distribución	Instalar los dispositivos de protección tales como DCRs y pararrayos	Conectar el sistema de distribución eléctrica al controlador de carga	Verificar operación del sistema de distribución eléctrica.

Tabla 12-1 Se ha dividido el proceso de construcción en seis fases para ayudar al desarrollador del proyecto a organizar las actividades. Trabajar desde arriba hacia abajo por cada columna; algunas actividades pueden realizarse simultáneamente para ahorrar tiempo.