



Guía para la Generación de Energía Hidroeléctrica



Evolución Energética, S.A.

+502 2458-4113

GeneracionEnergia@evolucionenergetica.com

<http://www.evolucionenergetica.com>

Introducción

¡Bienvenido!

La compañía **Canyon Hydro** ha desarrollado esta **Guía para la Generación de Energía Hidroeléctrica** para poder ayudarle a obtener una comprensión básica de cómo "LA ENERGÍA" funciona a través de sistemas de micro centrales, y qué es lo que sucede durante todo su diseño. Hemos tratado de mantener el contenido y el objetivo de ésta Guía en un ambiente "neutral", por lo que no verá la información sobre los sistemas **Canyon Hydro** específicamente; sin embargo, sí esperamos que usted nos tenga en cuenta cuando usted esté listo para comprar o adquirir su sistema hidroeléctrico.

Si usted está empezando de cero, pensamos que encontrará esta información muy útil. Si usted ya es un importante ingeniero hidráulico, puede estar más interesado en [Sistemas de Utilidad Canyon](#).

Hemos dividido nuestra **Guía para la Generación de Energía Hidroeléctrica** en tres secciones principales:

- **Sistemas Hidráulicos, una vista general**, una discusión de cómo funciona la energía hidroeléctrica, y un vistazo a los principales componentes que conforman un sistema hídrico.
- **Planificación de Su Propio Sistema Hidroeléctrico**, incluido la forma de medir altura y caudal, con ajuste de pérdidas en las tuberías, y el cálculo de la potencia.



- **Evaluación de Sistemas de Turbinas y sus Proveedores:** incluyendo consejos para la evaluación de la calidad, fiabilidad y servicio al cliente.

Usted no tiene que aprender todo lo que necesita saber para diseñar su propio sistema, ya que nuestros ingenieros estarán encantados de ayudarlo cuando usted esté listo. Todo lo que pedimos es que usted tenga las medidas exactas de su altura de caída y del caudal que alimentará a éste, vamos a arrancar desde allí.

Esta guía le mostrará cómo hacerlo esperamos que esta información sea de su utilidad. Si tiene algún comentario o sugerencia sobre el contenido dentro de esta guía, por favor, háganoslo saber a través de los correos: feedback@canyonhydro.com o en Hidroelectricas@evolucion-energetica.com

Richard New

Presidente, Canyon Hydro



Parte 1: Sistemas Hidráulicos

Fundamentos de la Energía Hidráulica



La energía hidráulica es la combinación de altura y caudal.

Considere la posibilidad de ver y analizar un sistema de acarreo de agua típico. El agua se desvía de una corriente y se introduce en una tubería, donde se lleva hacia la parte más baja del terreno y se utiliza y/o transforma a electricidad a través de una turbina y un generador, a este proceso se le denomina CAUDAL en inglés (**FLOW**). La caída vertical (**HEAD**) crea una presión en el extremo inferior de la tubería. El agua a presión que emerge del extremo de la tubería crea la fuerza que impulsa a la turbina.

Más **CAUDAL**, o más **CAÍDA**, producen más energía.

La caída (o altura) y el caudal (o flujo) son las dos características más importantes que usted necesita saber acerca de su sitio. Usted

debe tener estas medidas antes de que pueda discutir seriamente un proyecto, y los otros dos temas secundarios son: la energía que va a generar, y el costo que tendrán sus equipos. Como verá, todos los aspectos de un sistema hidráulico giran en torno a la altura o caída y al caudal o flujo.

Siempre recuerde:

- **La altura genera la presión del agua**, que es creada por la diferencia de altura entre la entrada o bocatoma y donde estará ubicada la turbina o casa de máquinas (normalmente en la parte más baja). La caída puede ser expresada como la distancia vertical (dada en pies o metros), o como la presión, normalmente en libras por pulgada cuadrada (psi) o bien en unidades Pascal (Kpa).

- **Caída neta** es la presión disponible en la turbina cuando el agua fluye, siempre será menor que la presión cuando el flujo del agua está cerrado. Como veremos más adelante, el diámetro de la tubería tiene un efecto importante en la caída neta.
- **CAUDAL es la cantidad de agua** que pasa a través de la tubería, y se expresa como "**volumen por segundo o minuto**", esta medida se da en galones por minuto (gpm), pies cúbicos por segundo (cfs) o litros por segundo (lps). Tanto la altura como el caudal deben estar presentes para producir energía hidráulica.
- **El Caudal de Diseño**, es el caudal máximo para el que está diseñado el sistema hidráulico. Será menor que el caudal máximo de su corriente (especialmente en la temporada lluviosa), y es a menudo un equilibrio entre la salida de potencia y el costo.

La caída neta y el caudal de diseño se utilizan para especificar y diseñar los componentes hidráulicos que conformarán el sistema.

Es importantísimo que las mediciones de CAÍDA y de CAUDAL sean bastante precisas, ya que las mismas no se pueden exagerar. Más adelante en esta *Guía*, hablaremos de [Cómo Medir esta Caída y el Caudal](#).

Conversión de Potencia y Eficiencia

En realidad, la generación de electricidad es simplemente la conversión de una forma de energía a otra. La turbina convierte la energía hidráulica en energía de rotación en su eje, que después se convierte en energía eléctrica a través del generador. Es importante tomar nota que:

- *La energía nunca se crea*, sólo puede ser transformada de una forma a otra.
- Parte de la energía se pierde por la fricción del agua en cada punto de la tubería, por lo tanto; *la eficiencia* es la medida de cuánta energía realmente se convierte o se obtiene en realidad.

La fórmula más simple para este cálculo es:

Energía Neta = Energía bruta x Eficiencia

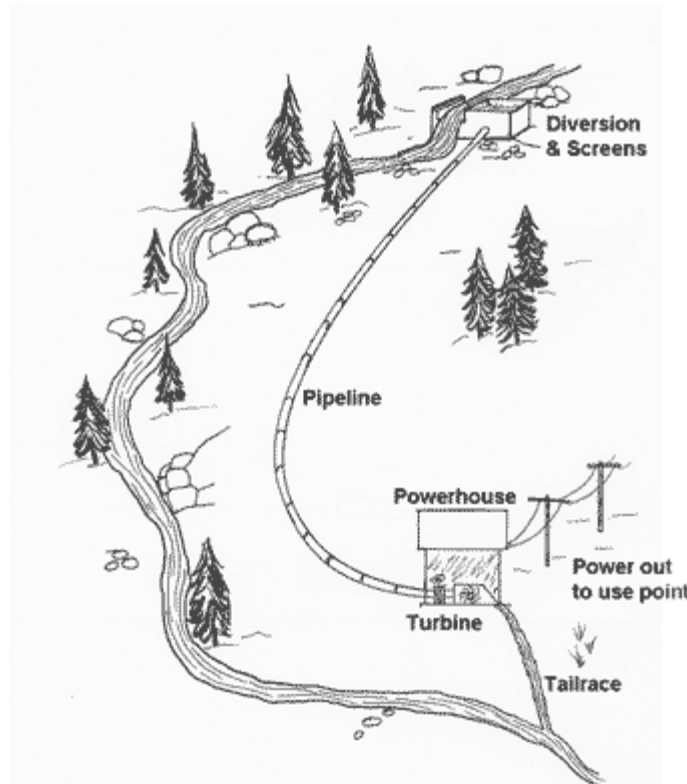
Mientras que algunas pérdidas de energía son inevitables, cuando la energía del agua se convierte en electricidad, estas pérdidas se pueden minimizar con un buen diseño del sistema. Cada aspecto de su Sistema Hidráulico, desde la toma de agua hasta la alineación del Sistema Turbina-Generador, puede afectar la eficiencia del sistema. Por tanto el diseño de la turbina es especialmente importante, un buen proveedor de turbinas debe trabajar



estrechamente con usted, para especificar una turbina con características operativas dinámicas que respondan a su altura o caída y al flujo o caudal.

Sistemas Hidráulicos

Los Componentes Principales de un Sistema Hidráulico



Los principales componentes de un sistema hidroeléctrico incluyen una desviación de agua, tuberías para crear presión, la turbina y el generador, canal de descarga para la salida del agua, y los cables de transmisión.

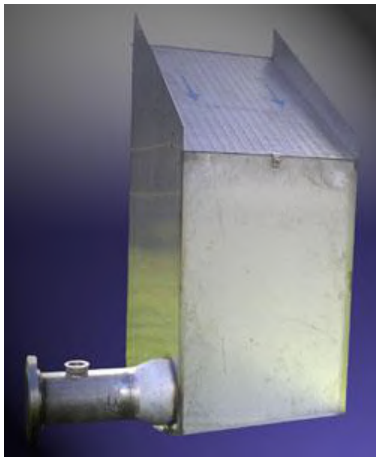
En un sistema hidráulico hay una serie de elementos interrelacionados, por ejemplo: el agua fluye en un extremo a través de tuberías, pasa a través de una turbina (girándola) y esto a través de un generador produce como resultado, la electricidad que sale por el otro lado. Esta sección proporciona una descripción de alto nivel de estos componentes, comienza

desde la toma de la fuente de agua y termina con los controles de tensión y frecuencia.

Desviación del Agua (Admisión o Entrada)

La bocatoma suele ser el punto más alto de su sistema hidráulico, donde el agua se desvía de la corriente del río a través de una tubería que a la vez alimenta la turbina. En muchos casos, una pequeña presa se utiliza para desviar el agua. (En la mayoría de los grandes proyectos hidroeléctricos, la presa también crea el CAUDAL necesario para accionar la turbina.)

Un sistema de desviación de agua sirve para dos propósitos principales. El primero consiste en proporcionar una piscina de profundidad suficiente de agua para crear una superficie lisa, libre de entradas de aire a la tubería o canalización. (El aire reduce los caballos de fuerza y además puede causar daños a la turbina.) La segunda es eliminar la suciedad y los residuos suspendidos en el agua. Las pantallas o filtros, pueden ayudar a parar los residuos más grandes, tales como hojas y ramas, mientras que una zona de "aguas tranquilas" permitirá a los sedimentos de tierra y otros, el asentarse en el fondo del estanque antes de entrar a la tubería. Esto ayuda a reducir el desgaste abrasivo en su tubería y en su turbina.



Este sistema de acero inoxidable de admisión incluye una pantalla de auto-limpieza.

Tubería de Carga

La tubería es a veces llamada tubería de carga o tubería forzada, esta es la responsable no sólo de la conducción del agua hacia la turbina, sino también es el depósito que crea presión en el caudal con una caída de aumento vertical. En efecto, en la tubería se concentra toda la energía del agua en la parte inferior y es en este punto donde la turbina se conecta. Por el contrario, un caudal abierto disipa la energía a medida que viaja por la colina.

Los siguientes componentes afectan la eficiencia de un sistema: el diámetro de la tubería, la longitud de la misma y el enrutamiento, todos afectan la eficiencia; por eso hay tablas que dan pautas para que coincida el tamaño de la tubería y para que también dé el caudal de diseño del sistema. Como se verá más adelante, una tubería de diámetro pequeño puede reducir considerablemente la potencia o la energía, a pesar de llevar toda el agua

disponible. Por otro lado tuberías de mayor diámetro crean menos fricción en el agua que viaja a través de ellas.

Central Eléctrica (Casa de Máquinas)

La casa de máquinas es más que un edificio que alberga la turbina, el generador y los controles. Un diseño inadecuado puede afectar significativamente la eficiencia del sistema, por lo tanto es importante estudiar su ubicación y como el agua entra y sale de la turbina.

Los Componentes Principales de un Sistema Hidráulico

Turbinas y la Eficiencia

La Turbina

La turbina es el corazón del sistema de energía hidráulica, donde se convierte la energía del agua, en la fuerza de rotación que acciona el generador. Podría decirse que es el componente más importante en el sistema, debido a que su eficiencia determina la cantidad de electricidad que se genera.

Hay diferentes tipos de turbinas, y la selección adecuada requiere de una considerable experiencia. Un diseño Pelton, por ejemplo, funciona mejor con una caída alta. Un diseño de caudal cruzado funciona mejor con una caída baja, pero caudal alto. Del mismo modo, hay otros tipos de turbinas, como Francis, Kaplan y Turgo, y cada una de ellas tiene aplicaciones diferentes y óptimas.



Turbina de impulso Pelton con la tapadera desmontada.

La mayoría de Turbinas caen en uno de los dos tipos principales:

- **Las Turbinas de Reacción** trabajan completamente sumergidas en el agua, y se utilizan normalmente en baja caída (presión) pero con sistemas de caudal alto. Los ejemplos incluyen: *Francis, Kaplan y de Hélice*.
- **Las Turbinas de Impulso** operan en la superficie, impulsadas por uno o más chorros que generan una alta velocidad de los alabes. Las turbinas de acción se utilizan normalmente con sistemas que poseen altas caídas y que utilizan boquillas o inyectores para producir los chorros de alta velocidad. Los ejemplos incluyen: *Pelton y Turgo*.

Un caso especial es la turbina de caudal cruzado (Cross Flow). Aunque técnicamente es clasificada como una turbina de impulso, ya que no está totalmente sumergida en el agua; normalmente se utiliza en caídas de baja altura pero con sistemas de alto caudal.

El agua pasa a través de una abertura grande, rectangular para accionar los álabes de la turbina, en contraste con los pequeños chorros de alta presión utilizados para las turbinas Pelton y Turgo.

La Eficiencia de las Turbinas

Independientemente del tipo de turbina, la eficiencia de ellas está en cada uno de sus detalles. Cada tipo de turbina puede ser diseñado para satisfacer

requisitos muy diferentes, y cualquier pequeña diferencia puede afectar significativamente la eficiencia y la generación de energía.

El sistema de cualquier turbina, está diseñado alrededor de la caída Neta y el Caudal de diseño. La Caída Neta da la presión disponible a la turbina cuando el agua está fluyendo (hablaremos de esto más adelante), y el Caudal de Diseño es la cantidad máxima de caudal para lo cual está diseñado el sistema hidráulico.

Estos criterios no sólo influyen en el tipo de turbina a utilizar, si no son parte fundamental para el diseño del sistema completo de la turbina.

Las pequeñas diferencias en las especificaciones pueden afectar significativamente la eficiencia de transferencia de energía. El diámetro de la corona (la parte giratoria), las curvaturas delanteras y posteriores de las palas, los materiales de moldeo utilizados, las boquillas (si se utilizan), la carcasa de la turbina, y la calidad de todos los componentes, tienen un efecto importante sobre la eficiencia y la fiabilidad del equipo.

La turbina funciona más eficientemente cuando consume exactamente y lo suficientemente rápido, toda la energía del agua. A su vez, el agua debe entrar en la turbina a una velocidad específica (medida en pies o metros por segundo) para maximizar la eficiencia en RPM (Revoluciones Por Minuto).

Esta velocidad es determinada por la presión que se genera en la parte superior o caída.

Optimización de la Velocidad del Agua

Puesto que la energía es una combinación de altura y caudal, es fácil ver cómo en un orificio más grande, por el que se mueve más agua a una cierta velocidad (caudal), haciendo unos pequeños cambios en el mismo, se podría generar más electricidad. Por el contrario, en la estación seca, cuando hay menos lluvias y cuando el caudal disminuye, entonces es necesario un orificio menor, para así mantener la velocidad óptima y mantener la misma transferencia de energía



Esta boquilla de aguja proporciona ajustes infinitamente variables para adaptarse a cambios en el flujo.

Tenga en cuenta que la velocidad de la turbina no es totalmente dependiente de la velocidad del agua, la turbina gira a una velocidad constante, ya que está directamente acoplado al generador, donde un gobernador mantiene estable la velocidad mediante el control de las RPM y el control de caudal de agua.

Pero a medida que la disparidad entre la velocidad real del agua y la óptima crece, se reduce la energía que el agua está transfiriendo a la turbina. Por eso la aguja reguladora permite que el orificio sea el correcto y esto asegura que el sistema esté funcionando a su nivel más eficiente.

Las turbinas de impulso (tal como una Pelton) a menudo están equipadas con una variedad de boquillas que poseen agujas de orificio, las cuales pueden ser empleadas para acomodar los cambios que se requieren en el caudal. Una desventaja de una tobera fija es que la turbina debe ser apagada para hacer cambios. Una opción popular, es la boquilla de aguja ajustable que permite en segundos hacer cambios con un número infinito de configuraciones.

Si usted conoce su altura y caudal, su proveedor de turbina debe ser capaz de hacer recomendaciones específicas para un sistema de turbina y proporcionar una estimación muy cercana de su eficiencia.

Los Componentes Principales de un Sistema Hidráulico

Sistema de Tracción y Generador

Sistema de Tracción

El sistema de tracción acopla la turbina al generador. A tal punto que permite que la turbina gire a sus Rpm óptimos. Y en el otro extremo, se acciona el generador a las Rpm necesarias que producen un voltaje y una frecuencia estables.

El sistema de tracción más eficaz y fiable es el directo (1:1), acoplando la turbina y el generador. Esto es posible en muchos sitios, pero no para todas las combinaciones de caída y caudal. En muchas situaciones es necesario ajustar la relación de transferencia, de manera que tanto la turbina como el generador funcionen en su nivel óptimo, pero a veces a diferentes velocidades



Accionamiento por correa de acoplamiento entre la turbina y el generador.

Estos sistemas pueden utilizar cualquiera de los tipos de accionamiento, es decir, pueden usar engranajes, o poleas y/o correas, y todos introducen pérdidas de eficiencia adicionales en el sistema.

Los Sistemas de banda tienden a ser más populares debido a su menor costo. El fabricante de su turbina puede proporcionarle una valiosa orientación sobre la relación entre los Rpm de su turbina y de su generador y sugerir opciones si un acoplamiento directo (1:1), no es posible.

Generador

El generador convierte la energía de rotación desde el eje de la turbina en energía eléctrica. La eficiencia es importante en esta etapa también, los equipos más modernos y generadores bien construidos, pueden ofrecer un mejor rendimiento.

Sin embargo, pueden haber grandes diferencias en el tipo de energía generada, Generadores de corriente continua (CC) pueden ser utilizados en sistemas muy pequeños, pero típicamente se aumentan con baterías e inversores para convertir la alimentación en corriente alterna (AC) que es la energía o potencia requerida por la mayoría de los electrodomésticos.

Los Generadores de corriente alterna (AC) se utilizan normalmente en todos los sitios a excepción donde hay sistemas pequeños. Las unidades comunes dentro del hogar generalmente consumen 120VAC (voltios de corriente alterna) y/o 240VAC, que puede ser utilizado directamente por electrodomésticos, calentadores, luces, etc.

La corriente alterna puede cambiarse fácilmente a través del uso de transformadores, que hace que sea relativamente fácil y sencillo utilizar otros tipos de dispositivos e incluso ser transmitidos a largas distancias.

Dependiendo de sus necesidades de alimentación, se puede elegir entre generadores de una sola fase (monofásicos) o de tres fases (trifásicos) de corriente alterna en una amplia variedad de voltajes.

Un aspecto crítico de la alimentación de CA es la frecuencia, típicamente se mide como ciclos por segundo o Hertz (Hz).

La mayoría de los aparatos electrodomésticos y los motores funcionan con 50Hz o 60Hz (dependiendo de dónde se encuentre en el mundo), así como las redes principales que interconectan las grandes estaciones generadoras de energía.

La frecuencia se determina por la velocidad de rotación del eje del generador; una rotación más rápida, genera una mayor frecuencia.

Los Componentes Principales de un Sistema Hidráulico

Sistemas de Control

Gobernadores y Controles

Los Gobernadores y otros controles ayudan a asegurar que el generador siempre gire a la velocidad adecuada. Los tipos más comunes de gobernadores para pequeños sistemas hidráulicos logran este fin mediante la gestión o manejo de la carga en el generador. Como ejemplo, consideremos un sistema hidráulico sin un gobernador. Cuando aumenta la carga sobre el generador al cambiar algo en el sistema, esto hace que el generador trabaje más. Sin un gobernador, cualquier cosa provocaría un sistema más lento, lo que podría reducir tanto la tensión como la frecuencia. De la misma forma, si elimináramos o sacáramos una carga por conmutación, esto podría provocar que el generador se acelere, elevando la tensión y la frecuencia.

Por otro lado si no tuviéramos carga alguna, el generador podría "girar libremente", y correr a un régimen de revoluciones muy alto (posiblemente causando daños). Pero al sumar las cargas progresivamente y hacerlas más altas, con el tiempo se desaceleraría el generador hasta alcanzar las RPM exactas de voltaje y frecuencia. Mientras logres mantener este sistema "perfecto" de carga, también conocido como carga de diseño, la potencia de salida será la correcta. (La carga de diseño se basa en el caudal de diseño; cuando el caudal disminuye durante los períodos secos, la carga en el generador tendrá que ser reducido también).

Usted podrá ser capaz de mantener la carga correctamente, cambiando manualmente los dispositivos, encendiéndolos y apagándolos, pero un gobernador, puede hacer un mejor trabajo, haciéndolo en una forma automática.

Gobernadores Electrónicos de Carga

Un gobernador electrónico de carga funciona mediante el ajuste automático de la carga para el generador, permitiéndole girar siempre a la velocidad correcta. En efecto, siempre esta graduando a el generador hacia abajo, lo suficiente para producir la tensión correcta y la frecuencia adecuada.



Además de las cargas de lastre de gestión, este gobernador Administración de carga puede dar prioridad a un máximo de 8 dispositivos adicionales.

Los Gobernadores electrónicos de carga se basan en dar un seguimiento constante de la tensión y/o de la frecuencia, sumando o restando las cargas eléctricas como sea necesario para compensar las diferencias y que la electricidad producida sea la adecuada para el uso humano. Por ejemplo, digamos que nuestro sistema tiene una carga de diseño de 5kW, para mantener el voltaje y la frecuencia adecuados, el consumo de energía del sistema debe ser siempre 5,000 vatios. Si una persona se desconecta 1,500 vatios de un quemador de estufa, el gobernador detectará el aumento de la frecuencia y compensará la velocidad por el cambio en una carga diferente a los 1,500 vatios, para mantener la carga total siempre en 5kW.

En este ejemplo, el regulador debe tener el control directo de 5,000 vatios de carga, por lo que puede proporcionar la carga de diseño total en el caso de que todos los seres humanos apaguen sus utensilios y nuevamente la carga debe ser controlada en 5,000 vatios. Además, debe ser capaz de controlar las cargas en pequeños incrementos (quizás de 100 vatios) cuando se prenden o se apagan focos u otros utensilios eléctricos, y la frecuencia siempre se debe mantener exacta.

Un gobernador de carga electrónica es altamente eficaz para los sistemas pequeños de hasta aproximadamente 12 KW. Se utilizan dos o más "balastos" de carga, que puede ser cualquier dispositivo puramente resistivo, tal como un calentador. El exceso de energía se desvía a las cargas de lastre, y un conmutador electrónico variable puede regular la cantidad de energía que es dirigida al lastre (tanto como un regulador de voltaje puede regular la potencia de una bombilla de luz). De esta manera, el regulador

electrónico puede hacer de pequeños ajustes de potencia a pesar de que las cargas de lastre (en sí mismos), pueden ser bastante grandes.

Sistemas de Gestión de Carga

Un sistema de gestión de carga es una versión mejorada del gobernador de carga electrónica, ofreciendo no sólo la capacidad de regular el uso de energía, sino también la opción para que usted pueda elegir y priorizar cómo la energía será utilizada. Además las cargas de lastre descritas anteriormente, se pueden controlar directamente, a través de una amplia variedad de dispositivos a través de relés.

Los pequeños ajustes de carga de trabajo, al igual que el regulador electrónico y el interruptor electrónico variable, regulan la potencia o la fuerza de las cargas de lastre; sin embargo, cuando hay energía en exceso, el sistema de gestión de carga deberá controlar los otros dispositivos con una cierta prioridad.

Por ejemplo, supongamos que ha conectado dos calentadores de agua y un calentador de ambiente en el mismo sistema de gestión de carga. El exceso de energía se dirige primero a dar prioridad a la carga máxima, el calentador de agua principal. Si hay exceso de potencia disponible todavía, se dirige a su siguiente prioridad, el calentador de la habitación. Si aún hay más energía o fuerza disponible, se irá a su calentador de agua de reserva. Ahora supongamos que arranca su bomba de agua, posiblemente absorbe una energía significativa, pero probablemente tiene una duración de menos de un minuto. La energía de uno de los calentadores de agua o de ambiente se puede interrumpir brevemente mientras la bomba funciona bien, y luego se restaura, cuando la bomba se apaga o deja de funcionar. Obviamente ésta breve interrupción no tendrá un impacto importante en la disponibilidad de agua caliente o la temperatura ambiente, y la bomba del pozo siempre tiene la energía o fuerza cuando lo necesita.

Del mismo modo, el agua en el calentador primario eventualmente se calentará y el termostato se apagará. El sistema de gestión de la carga se compensará automáticamente, bajando por la cadena de prioridades hasta que encuentra una carga que puede activar.

Los sistemas de gestión de carga general tienen seis o más cargas que puedan ser priorizados y conmutar la misma a través de relés, y su funcionamiento será siempre continuo, ayudará a facilitar las actividades normales de la casa, incluso con sistemas hidroeléctricos relativamente pequeños.

Sistema de Parado de Emergencia

Un sistema de parada de emergencia es una opción que protege al sistema contra el exceso de velocidad, lo que pudiera en algún momento dañar el generador. Por ejemplo, si un árbol cae sobre una línea de alimentación, que puede causar ya sea un cortocircuito (una carga extremadamente alta en el generador) o una línea abierta (carga cero) lo que causaría que el generador salga del sistema. Un cortocircuito puede causar también que el sistema se apague o este fuera de control si se dispara un interruptor. Cualquiera de estas condiciones es peligrosa y muy costosa, por lo que invertir en un sistema de parada de emergencia es una sabia decisión.



Del deflector de chorro en posición para desviar el chorro de agua lejos de la turbina.

Una parada de emergencia, por lo general significa la eliminación de toda la energía del agua en la turbina. Sin embargo, es importante reconocer, que un abrupto corte al caudal de agua podría dañar la tubería. (Si usted ha oído hablar que en las tuberías se da un golpe cuando se apaga un grifo, usted ahora ya tiene la idea.)

Para las turbinas de alto caudal como las Francis y las de diseño de caudal cruzado, el caudal de agua debe reducirse gradualmente.

La parada de emergencia en las turbinas de acción, tales como las Pelton y las de diseño Turgo, puede ser muy rápido, debido a que el chorro de agua simplemente se puede desviar lejos de la turbina, permitiendo que el caudal de agua no produzca sobretensiones perjudiciales.

Existen muchas técnicas diferentes para controlar el exceso de flujo o sobre velocidad, y no todas las condiciones requieren de un dispositivo de parada de emergencia. Consulte con su proveedor de turbinas para ver qué método sería el adecuado para su sistema hidráulico.

Controles de Interfaz de Red para Suministro Eléctrico

Los Controles de Conexiones de interfaz de red para suministro eléctrico, son cada vez más comunes, pero estos controles son apropiados y esenciales principalmente para el correcto funcionamiento del sistema y "sobre todo" por la seguridad que brindan.

Las redes de interconexión, a las cuales se conectan los sistemas de generación de energía de las hidroeléctricas normalmente son muy grandes y de utilidad pública. Estas redes permiten que cientos de megavatios de energía puedan moverse por el país cubriendo la oferta y la demanda regional. Se proporcionan y diseñan controles automáticos, de modo que un fallo en un cierto lugar, puede ser desviado, evitando o causando un mínimo impacto para los consumidores.

La mayoría del tiempo la red funciona bien, pero como se ilustra con el apagón generalizado de EE.UU. del año 2003, también puede ser muy frágil.



Es posible interconectar un pequeño sistema de generación hidráulico con la red de suministro eléctrico, y esta conexión permite a la red proporcionar energía eléctrica durante las horas pico. Cuando el sistema de generación hidráulico no puede mantener el ritmo demandado, se alimenta a la red a través de sistemas de generación de energía por sistemas recíprocos.

Los Controles de interconexión de la red hacen ambas cosas. Hará un monitoreo de la red y garantizará que el sistema esté generando tensión compatible, con la frecuencia y fases adecuadas. También se desconectará instantáneamente de la red, si se producen grandes fluctuaciones en cualquiera de los extremos.

La desconexión automática es fundamental para la seguridad de todas las partes involucradas, por ejemplo, si un árbol cae en una línea de utilidad pública, sus controles de red se apagarán y se desconectarán automáticamente esa parte de la línea.

Pero imagínese que si su sistema de generación hidráulico continuó enviando energía a la línea caída, cuando el equipo de reparaciones de utilidad pública se presenta a reparar la línea y creen que es una línea inactiva, el equipo de reparación podría estar en grave peligro y usted podría enfrentar el mismo peligro si no estaba al tanto que la red se estaba reparando.

Si usted está pensando acerca de su conexión a la red eléctrica, empiece por ponerse en contacto con su compañía de servicios para conocer sus políticas. Si usted espera vender energía a la comunidad, preste especial atención a la eficiencia de su sistema de generación hidráulico, ya que una mayor producción y un menor costo por vatio producido, irá directamente a su cuenta de resultados.

El fabricante de la turbina puede dar orientación sobre el diseño más eficiente, así como los mejores controles de interconexión a la red y de los salvaguardias que se deben de utilizar.

Parte 2: Planificación de su Propio Sistema Hydro

Medición de la Caída y del Caudal

Ahora que tiene una comprensión básica de los componentes del sistema hidráulico, es el momento para comenzar a evaluar su propio potencial de producción de energía hidroeléctrica.



Los cuatro puntos que usted necesita saber:

Antes de que pueda comenzar a planificar sus sistemas o estimar la cantidad de energía que va a producir, tendrá que hacer cuatro mediciones esenciales:

1. La alimentación, la altura o caída (la distancia vertical entre la "toma" y la "casa de maquina" y/o localización de la turbina).
2. Caudal (cantidad de agua que baja por el río y que pasará a través de la tubería a utilizar).
3. Tubería de Carga: su diámetro y su longitud.
4. Tubería de Carga: su diámetro y su longitud.

En esta sección, vamos a discutir cómo estas medidas afectan al diseño y la eficiencia de su sistema hidroeléctrico.

Medición de la Caída y del Caudal

La Caída (su altura) y el Caudal (volumen o cantidad de agua) son los dos hechos más importantes que usted necesita saber acerca de su sitio. Usted simplemente no puede seguir adelante sin conocer estas medidas. Su "caída" y "caudal" determinarán todo lo relacionado con su sistema Hidroeléctrico – tamaño del ducto o tubería, tipo turbina, velocidad de rotación, tamaño del generador - todo. Incluso las estimaciones de costos en bruto serán imposibles sino hasta que haya medido la "caída" y el "caudal".

También hay que tener en cuenta que la precisión y la exactitud son importantes. A menos que sus medidas sean exactas, usted podría terminar con un sistema hidráulico diseñado para las especificaciones equivocadas, obteniendo una menor producción de energía a un costo más alto por vatio.

Medición de la Caída (o HEAD)

En la TOMA o CAÍDA se da la presión, creada por la diferencia de altura entre la toma de la tubería y la ubicación de su turbina. La caída puede ser medida como la distancia vertical (pies o metros) o como la presión (libras por pulgada cuadrada, Newton por metro cuadrado, etc.); sin importar el tamaño de su flujo o caudal. Si por ejemplo, se logra una mayor CAIDA esta producirá una mayor presión - y por lo tanto – mayor fuerza o poder del agua en la turbina.

Las conversiones siguientes le pueden ser útiles:

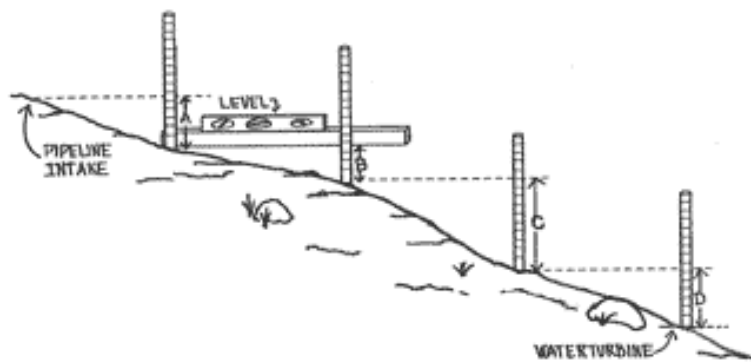
- 1 pie vertical = 0.433 libras por pulgada cuadrada (psi) de presión.
- 1 psi = 2.31 metros verticales.



La precisión es fundamental en la medición de la "CAIDA" (HEAD). No sólo afecta a la potencia, sino que también determina el tipo de turbina a utilizar (tal como un diseño de turbina Francis o Pelton), así también el diseño hidrodinámico de los alabes de la turbina o paletas. Un altímetro puede ser muy útil en la estimación de la altura en la caída o toma, para la correcta evaluación preliminar del sitio, pero no debe ser utilizado para la medición final. Es muy común que los altímetros barométricos de bajo costo, puedan reflejar errores de 150 pies o más, incluso cuando están calibrados. Altimetros GPS son a menudo mucho menos precisos todavía.

Hay dos métodos precisos para medir la CAÍDA o altura de TOMA: 1) La medición directa de la distancia y 2) La presión del agua.

Medición de Distancia Directa



El supervisor puede utilizar un nivel normal, el nivel de un contratista que utilice un trípode, teodolito, o un nivel pegado a un tablero recto para medir la altura de caída como lo muestra el dibujo. También necesitará un poste con medidas graduadas. (Una cinta de medición colocada en una sección de 20 pies de tubería de PVC puede funcionar bien). La medición directa requiere de un asistente, a veces este método es lento, pero es la mejor forma de hacerlo.

Realice una serie de mediciones verticales con el nivel de gota de agua y el poste de medición vertical. Asegúrese de que en cada medición la gota está en medio del nivel y garantice la medición "exacta" en el poste vertical. Mantener las notas detalladas en cada paso (A, B, C, D, etc.), y luego se suman la serie de mediciones (A, B, C, D, etc.) para encontrar la altura total. (Ver ilustración o dibujo adjunto).

Medición de la Presión del Agua

Si la distancia es lo suficientemente corta, puede utilizar una o más mangueras de jardín para medir la "Caída". Este método se basa en la constante de que cada pie vertical de caída crea 0,433 psi de presión de agua. (10 pies verticales crearía 4,33 psi). Mediante la medición de la presión en la manguera, se puede calcular la altura o elevación de su sistema.

Pase la manguera (o tubos) de su sitio de ingesta propuesto para la ubicación de la turbina propuesta. Si conecta múltiples mangueras juntas, se debe de asegurar que cada conexión esté firme y libre de fugas. Conectar un elemento que mida la presión exacta en el extremo inferior de la manguera y llene completamente la manguera con agua. Asegúrese de que no haya puntos altos en la manguera que podrían atrapar aire.

Si es necesario, se puede medir la altura total en distancias más largas moviendo la manguera (s) y tomando lecturas múltiples. Tenga en cuenta, sin embargo, que hay menos exactitud en este método, por cada pie vertical. La posibilidad de error aumenta significativamente con una serie de lecturas.

Utilice la manguera más larga posible, junto con un medidor de presión de alta precisión, para medir la caída o altura (HEAD). El medidor de presión debe estar graduado de modo que las mediciones se realicen en el medio del rango de la galga de presión. Por ejemplo, NO utilice un indicador de presión con rango de 0 a 800 PSI para una presión de 5 -15 PSI, en este caso DEBE utilizar o seleccionar un medidor con calibración entre 0 y 30 PSI.

Medición Completa de la Caída versus la Caída Neta

Gracias al registro de estas medidas reales, se ha podido determinar que la medición completa de la caída, es menor a la medida neta de la caída. Esto debido a que cuando el agua comienza a fluir en la tubería forzada, debido a la fricción que se produce, se dará una reducción NETA entre el 15% y 10%, dando una medida NETA de Caída del 85% -90% de la medición completa de la caída, que se ha medido.

Planificación de su Propio Sistema Hydro

Medir el Potencial



Medición del Caudal

Las mediciones del caudal variarán a través de las estaciones, por lo que es importante medir el caudal en varios momentos del año. Si esto no es posible, tratar de determinar diversos caudales anuales discutiendo la corriente con un vecino, o la búsqueda de datos Hidro-geológicos que el gobierno realiza.

También hay que tener en cuenta que los peces, aves, plantas y otros seres vivos dependen de su corriente para la supervivencia (Corriente Ecológica). Especialmente durante la temporada de estiaje (estiaje es el nivel de caudal mínimo que alcanza un río en algunas épocas del año, debido principalmente a la sequía), en estos casos hay que evitar el uso TOTAL del agua para todo el sistema hidroeléctrico, siempre hay que permitir que haya un Caudal Ecológico.

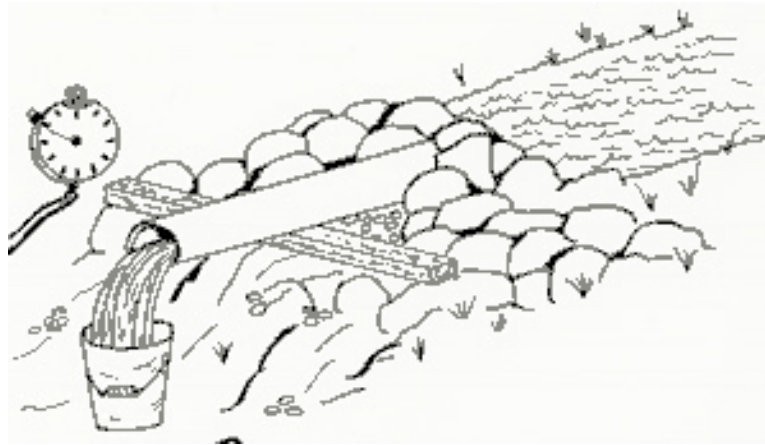
El CAUDAL se expresa típicamente como: un cierto volumen de agua por segundo o minuto. Los ejemplos más comunes son galones o litros por segundo (o minuto), y los pies cúbicos o metros cúbicos por segundos (o minuto); cada uno se puede convertir fácilmente a otro, como sigue:

- 1 pie cúbico = 7.481 galones
- 1 metro cúbico = 35.31 pies cúbicos
- 1 metro cúbico = 1,000 litros

Hay tres métodos populares para medir el caudal: 1) El uso de un contenedor, 2) El uso de un flotador y 3) El uso de un vertedero o presa medible. Cada uno se describe en detalle a continuación. Una vez más, la precisión es importante para asegurar un diseño correcto del sistema y generación de potencia óptima.

Método 1: Tiempo de medición para llenar contenedores

El método de llenado de contenedores sólo funciona para sistemas muy pequeños. Construir un dique temporal que obligue a que toda el agua pase a través de una tubería de un volumen o tamaño conocido, usar un cronómetro para medir el tiempo que toma para llenar el recipiente. Luego divida el tamaño del contenedor entre el número de segundos.



Ejemplo:

Contenedor o cubeta = 5 galones cubo de pintura

Tiempo para llenar = 8 segundos

- $5 \text{ galones} / 8 \text{ segundos} = 0,625 \text{ litros por segundo (GPS)}$

Para convertir en pies cúbicos por segundo (cfs):

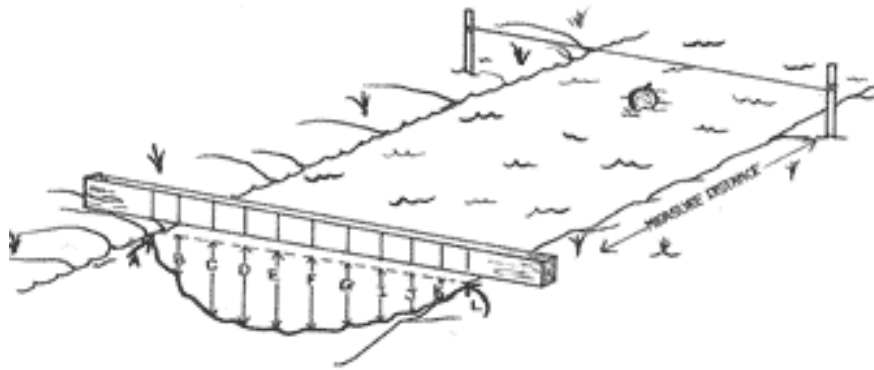
- $7.481 \text{ galones por segundo} = 1 \text{ pie cúbico por segundo}$, por lo que
- $0.625 \text{ gps} / 7.481 = 0,0835 \text{ pies cúbicos por segundo (cfs)}$.

Medición del Caudal

Más Información sobre Medición del Caudal

Método 2: Medición con un Flotador

El método de flotación es útil cuando existen grandes corrientes, es ideal si se puede encontrar una sección del río de unos 10 metros de largo donde la corriente sea bastante consistente en anchura y profundidad.



PASO 1: Mida la profundidad media del arroyo. Seleccione una tabla capaz de abarcar el ancho y la altura de la corriente y se debe marcar ésta a intervalos de un pie. Coloque la tabla por el arroyo, y mida la profundidad de la corriente en cada intervalo de un pie. Para calcular la profundidad media, añada todas sus medidas y se divide por el número de mediciones que ha realizado.

PASO 2: Calcular el área de la sección que acaba de medir. Multiplicar la profundidad media que acaba de calcular por la anchura de la corriente. Por ejemplo, una corriente de 6-pies de ancho con una profundidad media de 1,5 metros produciría una sección del área de 9 metros cuadrados.

PASO 3: Medir la Velocidad. Una buena manera de medir la velocidad es marcar sobre una longitud de 10 pies del arroyo o río (que incluya el punto en que se ha medido la sección transversal). Recuerde que sólo quieren saber la velocidad del agua en la sección transversal que midió, por lo que, la más corta longitud de la corriente, es la que se mide mejor. El uso de un flotador con peso que se pueda ver claramente (por ejemplo, una naranja funciona bastante bien), colóquela en la corriente (aguas arriba de la zona de medición), y luego usar un cronómetro para medir el tiempo que tarda en

recorrer la longitud de la sección de medición (por ejemplo, 10 pies). La velocidad del caudal varía probablemente a través de su ancho, por lo que es recomendable medir varias veces y en distintos lugares y luego sacar el promedio de ellos.

Con estas medidas de tiempo y distancia, ahora se puede calcular la velocidad del agua.

Por ejemplo, supongamos que tomó 5 segundos para que el flotador pudiera viajar los 10 pies:

- $10 \text{ pies} / 5 \text{ segundos} = 2 \text{ pies por segundo}$, o
- $2 \text{ pies por segundo} \times 60 \text{ segundos/minuto} = 120 \text{ pies/minuto}$

A continuación, se puede calcular el caudal a través de multiplicar los metros recorridos por el área de la sección transversal. Utilizando el área de la sección transversal y la velocidad.

- $120 \text{ pies/minuto} \times 9 \text{ pies cuadrados} = 1,080 \text{ pies cúbicos por minuto}$ "cfm" (por sus siglas en ingles) de CAUDAL.

PASO 4: Corrección por el factor fricción. Debido a que el lecho de la corriente crea fricción contra el movimiento del agua, la parte inferior de la corriente tiende a moverse un poco más lenta que la parte superior. Esto significa que el caudal "real" es un poco menos, que lo que hemos calculado.

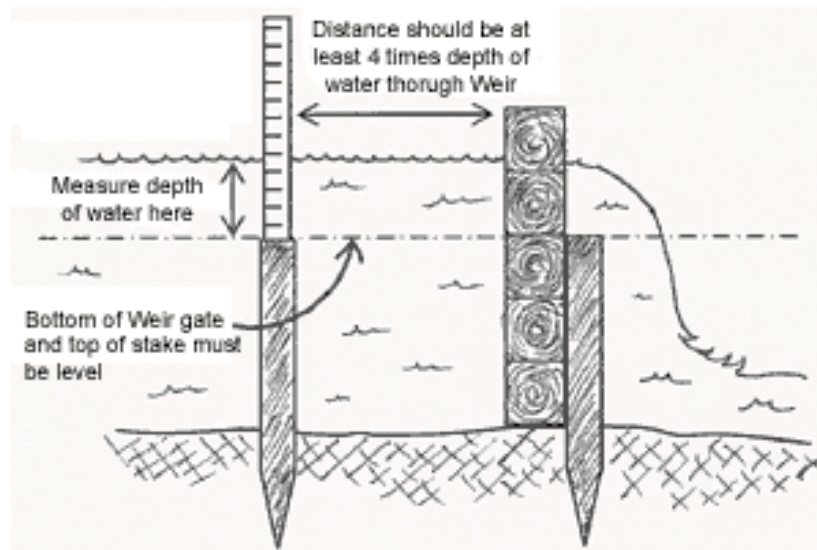
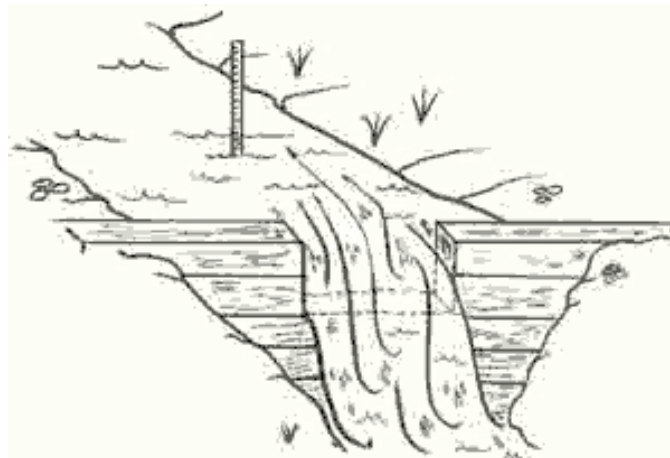
- $1,080 \text{ cfm (Caudal Bruto)} \times 0,83 = 896.4 \text{ (pies cúbicos por minuto)}$, o cfm de Caudal Neto Efectivo.
- $896.4 \text{ cfm} \times 1 \text{ min}/60 \text{ seg.} = 14.94 \text{ cfs (pies cúbicos por segundo)}$.

Medición del Caudal

El Método Más Exacto para Medir el Caudal

Método 3: Medición con un Wier

Un Wier es tal vez la forma más precisa de medir el caudal en corrientes medianas y pequeñas. Toda el agua se dirige a través de un área que es exactamente rectangular, por lo que es muy fácil medir la altura y la anchura de la sección por donde pasa el agua y así poder calcular el caudal.



Un Wier es un dique “temporal” con una puerta rectangular, donde la parte inferior de la ranura debe estar exactamente al mismo nivel, y la anchura de la puerta debe permitir que toda el agua pase a través de ella sin que se derrame el fluido sobre la parte superior de la presa. Una puerta estrecha aumentará la profundidad del agua a medida que pasa a través del dique, por lo que es más fácil de medir.

Es importante tener en cuenta que su medición de profundidad no se debe tomar en la misma puerta, ya que la profundidad del agua se distorsiona al pasar por la puerta. En su lugar, inserte una estaca bien arriba de la puerta del Wier y hacer que la parte inferior de la estaca este exactamente a nivel

con la parte inferior de la puerta. Medir la profundidad del agua desde la parte superior de la estaca.

Una vez que el ancho y la profundidad del agua se conocen, se debe utilizar una tabla para calcular el caudal. La Tabla que se muestra a continuación se basa en una puerta de una pulgada de ancho, simplemente multiplique la cantidad medida por el ancho (en pulgadas) de su puerta.

Por ejemplo: Supongamos que su compuerta es de 6 pulgadas de ancho, y la profundidad del agua que pasa sobre ella es 7-1/2 pulgadas. En la parte izquierda de la tabla, busque "7" y busque en esa misma fila hasta encontrar la columna para "1/2 pulgada". La tabla muestra el caudal de 8.21 cfm (cubic feet per minute, por sus siglas en inglés, que es igual a = pies cúbicos por minuto) para una puerta de una pulgada, con 7-1/2" de agua que fluye a través de ella. Debido a que su puerta es de 6 pulgadas de ancho, simplemente se multiplica el 8.21 por 6 para obtener 49.26 cfm o (pies cúbicos por minuto).

| Inches | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | +0/8 | +1/8 | +1/4 | +3/8 | +1/2 | +5/8 | +3/4 | +7/8 |
| 0 | 0.00 | 0.01 | 0.05 | 0.09 | 0.14 | 0.19 | 0.26 | 0.32 |
| 1 | 0.40 | 0.47 | 0.55 | 0.64 | 0.73 | 0.82 | 0.92 | 1.02 |
| 2 | 1.13 | 1.23 | 1.35 | 1.46 | 1.58 | 1.70 | 1.82 | 1.95 |
| 3 | 2.07 | 2.21 | 2.34 | 2.48 | 2.61 | 2.76 | 2.90 | 3.05 |
| 4 | 3.20 | 3.35 | 3.50 | 3.66 | 3.81 | 3.97 | 4.14 | 4.30 |
| 5 | 4.47 | 4.64 | 4.81 | 4.98 | 5.15 | 5.33 | 5.51 | 5.69 |
| 6 | 5.87 | 6.06 | 6.25 | 6.44 | 6.62 | 6.82 | 7.01 | 7.21 |
| 7 | 7.40 | 7.60 | 7.80 | 8.01 | 8.21 | 8.42 | 8.63 | 8.83 |
| 8 | 9.05 | 9.26 | 9.47 | 9.69 | 9.91 | 10.13 | 10.35 | 10.57 |
| 9 | 10.80 | 11.02 | 11.25 | 11.48 | 11.71 | 11.94 | 12.17 | 12.41 |
| 10 | 12.64 | 12.88 | 13.12 | 13.36 | 13.6 | 13.85 | 14.09 | 14.34 |
| 11 | 14.59 | 14.84 | 15.09 | 15.34 | 15.59 | 15.85 | 16.11 | 16.36 |
| 12 | 16.62 | 16.88 | 17.15 | 17.41 | 17.67 | 17.94 | 18.21 | 18.47 |
| 13 | 18.74 | 19.01 | 19.29 | 19.56 | 19.84 | 20.11 | 20.39 | 20.67 |
| 14 | 20.95 | 21.23 | 21.51 | 21.80 | 22.08 | 22.37 | 22.65 | 22.94 |
| 15 | 23.23 | 23.52 | 23.82 | 24.11 | 24.40 | 24.70 | 25.00 | 25.30 |
| 16 | 25.60 | 25.90 | 26.20 | 26.50 | 26.80 | 27.11 | 27.42 | 27.72 |
| 17 | 28.03 | 28.34 | 28.65 | 28.97 | 29.28 | 29.59 | 29.91 | 30.22 |
| 18 | 30.54 | 30.86 | 31.18 | 31.50 | 31.82 | 32.15 | 32.47 | 32.80 |
| 19 | 33.12 | 33.45 | 33.78 | 34.11 | 34.44 | 34.77 | 35.10 | 35.44 |
| 20 | 35.77 | 36.11 | 36.45 | 36.78 | 37.12 | 37.46 | 37.80 | 38.15 |

Un Wier es especialmente eficaz para medir el caudal durante las diferentes épocas del año. Una vez que la presa está bien ubicada, es más rápido y fácil de medir la profundidad del agua y con esto se busca en la tabla o diagrama de caudal, en diversas épocas del año.

Diseño de Caudal

A pesar de que el caudal puede ser muy alto después de períodos excepcionalmente lluviosos, probablemente no será rentable para el diseño de su sistema de turbina para manejar toda esa agua por unos pocos días del año. En su lugar, tiene sentido construir un sistema que utilice el mayor caudal, con el que se puede contar durante un gran periodo o parte del año. Esto se conoce como "caudal de diseño", y es el caudal máximo al que se ha diseñado el sistema hidráulico de acomodar.

El Caudal de Diseño junto con el caudal neto, determinan todo lo relacionado con su sistema hidroeléctrico, desde el tamaño de la tubería de presión hasta la cantidad de corriente eléctrica que se generará.

Planificación de su Propio Sistema Hydro

El Efecto de la Tubería de Carga en la Presión la Caída

Medición de la Tubería de Carga, (Longitud)

La longitud de la canalización (también conocida como la tubería de carga) tiene una gran influencia en el costo y la eficiencia de su sistema, como veremos a continuación.

La medición es fácil, simplemente, basta con pasar una cinta métrica entre la caída o bocatoma y la ubicación final de la turbina en la casa de máquinas, siguiendo la ruta que se va a utilizar para su transportación.

Calcular Caída Neta

La medición de Caída Neta, es la medición que toma la sección bruta de la caída o bocatoma – y la verdadera distancia vertical o altura desde la

bocatoma a la turbina - y la presión resultante que éste cuerpo de agua ejerce en el fondo de la tubería (previo a que entre en la turbina) cuando el agua no está fluyendo, a esta presión se le denomina presión de Caída BRUTA, sin embargo cuando se mide la presión en la parte inferior de la tubería cuando el agua está fluyendo a esta presión se le denomina Presión de "Caída NETA" y como se explicó anteriormente, ésta siempre será inferior debido a las pérdidas por fricción que se dan cuando el agua corre dentro de la tubería. Por lo tanto cuando se presentan tuberías más largas y de diámetros más pequeños, esto provoca que se cree una mayor fricción.

La Caída Neta es una medida mucho más útil que la Caída Bruta y junto con el Caudal de Diseño, se utilizan para determinar los componentes hidráulicos y la capacidad de salida del sistema de alimentación. Esta sección le mostrará lo básico para determinar el tamaño de tubería y el caudal neto, pero le recomendamos o sugerimos que trabaje con su proveedor de turbinas, para finalizar sus especificaciones de tuberías.

Pérdida de Carga

La Pérdida de Carga se refiere a la pérdida de energía del agua debido a la fricción dentro de la tubería (también conocida como Perdida en la Tubería de carga). Aunque un diámetro de tubería dado, puede ser suficiente para llevar todo el caudal de diseño, las paredes, las articulaciones y las curvas de la tubería tienden a crear una fricción o arrastre cuando el agua pasa por ella y esta provoca una disminución en la velocidad o flujo y tiende a frenarla.

El efecto es el mismo que bajar el nivel en la bocatoma o caída, es decir, habrá menos presión de agua en la turbina.

Tenga en cuenta que los efectos de la "Pérdida de Carga" no se pueden medir a menos que el agua esté fluyendo. Un medidor de presión en la parte inferior de la tubería, incluso en la tubería más pequeña, leerá los PSI cuando el agua está estática en la tubería. Pero tan pronto el agua comienza a fluir dentro de la tubería, la fricción dentro de la misma reduce la velocidad del agua que sale de la parte inferior. Lo que implica que a mayor caudal de agua aumenta la fricción.

Tuberías de mayor diámetro crean menos fricción, entregando más energía a la turbina. Pero las tuberías grandes también tienden a ser más caras, por lo que siempre provoca un dilema entre la pérdida de carga y el costo del sistema.

Una regla de oro que se utiliza para determinar el tamaño o diámetro de la tubería de presión, es la misma donde no más del (10% al 15%) de la

alimentación de la Caída Bruta se pueda perder a través de la fricción en la tubería.

La siguiente tabla proporciona un buen ejemplo de cómo determinar el tamaño o diámetro de la tubería apropiada (tubería de carga).

Gráfico de Pérdida de Presión

| Diseño de Caudal | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| GPM | .25 | .50 | 100 | 150 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1200 |
| CFS | .05 | .1 | .2 | .33 | .45 | .66 | .89 | 1.1 | 1.3 | 1.5 | 1.78 | 2.0 | 2.23 | 2.67 |
| Tamaño de la tubería PVC y la pérdida de presión por cada 100 pies | | | | | | | | | | | | | | |
| 2" | 1.28 | 4.65 | 16.8 | 35.7 | 60.6 | 99.2 | | | | | | | | |
| 3" | .18 | .65 | 2.33 | 4.93 | 8.36 | 17.9 | 30.6 | 46.1 | 64.4 | | | | | |
| 4" | .04 | .16 | .57 | 1.23 | 2.02 | 4.37 | 7.52 | 11.3 | 15.8 | 21.1 | 26.8 | 33.4 | | |
| 6" | | .02 | .08 | .17 | .29 | .62 | 1.03 | 1.36 | 2.2 | 2.92 | 3.74 | 4.75 | 5.66 | 8.04 |
| 8" | | | | .04 | .07 | .15 | .25 | .39 | .5 | .72 | .89 | 1.16 | 1.4 | 1.96 |

Ejemplo de las características de un sitio:

- Caída bruta = 100 pies
- Longitud de tubería = 400 pies
- Pérdida de carga admisible = 10% a 15% (10 a 15 pies)
- Diseño de caudal = 200 galones por minuto

Para determinar qué tamaño de tubería sería la mejor, busque su Caudal de diseño (200 GPM) en la Tabla de Pérdida de Carga Superior. Nuestra máxima pérdida aceptable es de 15 pies (15% de nuestros 100 pies de Caída Bruta), lo que significa que no puede superar los 3,75 metros de pérdida (por cada 100 pies) de nuestros 400 pies de tubería. La lectura de la columna por debajo de 200 GPM, se encuentra que un tubo de 4 pulgadas causaría una pérdida de 2.02 pies por cada 100 pies – lo cual está dentro de nuestros límites

Usando una tubería de cuatro pulgadas, la pérdida de carga para este ejemplo sería:

- La pérdida de carga = 2.02 pies (por cada 100 pies) x 4 = 8,08 metros

Por lo tanto, lo adecuado para este ejemplo sería:

- Caída Neta = 100 pies – 8.08 pies = 91.92 pies



Tenga en cuenta la diferencia significativa en la pérdida de carga entre las tuberías de 3 pulgadas y 4 pulgadas. Del mismo modo, un tubo de 6 pulgadas u 8 pulgadas podría causar menos pérdida en la caída y podría entregar más fuerza o energía en la turbina, pero la mejora de rendimiento, puede no ser lo suficiente económica para justificar el costo adicional del diámetro de la tubería.

Tenga en cuenta que estos cálculos de pérdida de carga están siendo asumidos en condiciones óptimas, es decir, en un tubo recto, que no toma en cuenta las curvas de su tubería y que es muy posible que puedan robar fuerza significativa o velocidad de su caudal de agua. El fabricante de la turbina debe estar bien enterado de la medición de las pérdidas de carga, y puede ser un excelente recurso para obtener las recomendaciones adecuadas para el diámetro de la tubería.

Planificación de su Propio Sistema Hydro

El Cálculo de la Energía Hidráulica Disponible

Calculando la Fuerza del Agua

Una vez que haya determinado la Caída Neta y su Caudal de Diseño, usted puede comenzar a estimar la potencia de su sistema hidráulico. Estos Cálculos son sólo cálculos aproximados y preliminares, consulte con su proveedor de turbinas para proyecciones más precisas.

Comenzamos calculando la potencia teórica del agua, antes de tomar en consideración las pérdidas de eficiencia en la turbina, en el sistema de conducción de agua y en el generador.

Usted puede calcular *la potencia teórica* de su suministro de agua, ya sea en Caballos de fuerza o kilovatios utilizando una de las siguientes fórmulas:

$$\text{Caballos de fuerza teóricos (HP)} = \frac{(\text{CAIDA "pies"} \times \text{CAUDAL "cfs"})}{8.8}$$

$$\text{Kilovatios Teóricos (kW)} = \frac{(\text{CAIDA "pies"} \times \text{CAUDAL "cfs"})}{11.81}$$



* Tenga en cuenta que se trata de ecuaciones *teóricas de alimentación*, que NO tienen en cuenta las pérdidas de eficiencia inevitables que se producen en varios puntos dentro de su sistema de tuberías hidráulico. La potencia de salida real de su generador será menor, como veremos más adelante.

Ejemplo Hipotético:

Un proyecto en Nueva Zelanda tiene 100 pies de altura, con 2 pies cúbicos por segundo (cfs) de caudal. Aplicando nuestra fórmula, nos encontramos con que debe tener alrededor de 17 kW teóricos disponibles:

$$\frac{\text{kW} = 100 \text{ (pies)} \times 2 \text{ (cfs)} = 16.93 \text{ Kilovatios Teóricos}^*}{11.81}$$

Como se puede ver, la caída y el caudal tienen un efecto lineal sobre el resultado de la fuerza o energía.

Lo que implica que: duplicando la altura de la caída, también se duplica la fuerza. Por otro lado si se duplica el caudal también se duplica la fuerza.

También hay que tener en cuenta que si la altura de la Caída se mantiene constante una vez que su sistema está instalado, usted puede contar con ella todo el año. También es la forma más barata para aumentar la generación de energía, ya que tiene efecto mínimo en el tamaño de la turbina. Por el contrario, el Caudal es muy probable que cambie en el transcurso de un año debido a las estaciones, y puede que no sea rentable para el tamaño de su sistema de tuberías, cuando por ejemplo se dé una máxima inundación a nivel del río. Procure siempre maximizar la altura de su caída, y trabajar con su proveedor de turbinas para determinar el caudal de diseño más práctico.

La precisión es importante! El diseño de su turbina gira en torno a las mediciones de altura y caudal, y los errores impactarán directamente en la eficiencia de su sistema. Tómese el tiempo necesario para medir la altura y el caudal con extrema precisión antes de empezar a evaluar los componentes del sistema hidráulico.

Ajuste por Pérdidas de Eficiencia

Como se ha señalado, los cálculos de fuerza teóricos expuestos anteriormente, representan el máximo teórico, y la potencia de salida real de su sistema hidráulico será sustancialmente menor. Además de las pérdidas de las tuberías discutidas anteriormente, pequeñas cantidades de energía se pierden también debido a: 1) la fricción dentro de la turbina, 2) al sistema de accionamiento, 3) a pérdidas dentro del generador, y 4) en las líneas de transmisión.

A pesar de que algunas pérdidas de eficiencia son inevitables, no hay que subestimar la importancia de un buen diseño. Los sistemas eficientes de producir una mayor potencia de salida, dan a menudo, un menor costo por vatio producido.

Por ejemplo, un sistema de turbina que está cuidadosamente adaptado a su altura y al caudal, no puede costar más que un diseño "menos adecuado", pero produce una eficiencia mucho mejor. Otras mejoras, tales como el diámetro de la tubería, es decir, que sea un diámetro más grande o un sistema de accionamiento mejor, puede producir suficiente energía adicional, para justificar su coste más alto.

Debido a las muchas variables en el diseño del sistema, es imposible estimar la eficiencia, sin antes saber su altura y su caudal.

Como regla general, sin embargo, se puede esperar un sistema casero de tamaño de generación directa de alimentación de CA (Corriente Alterna) para operar a alrededor del 60% al 70% de eficiencia entre "la turbina y la subestación", medida dada entre la entrada y la salida de la turbina y el generador.

Los sistemas más grandes de servicios públicos ofrecen eficiencias mucho mejores. Pequeños sistemas de Corriente Continua generalmente tienen una menor eficiencia.

Si usted tiene las medidas exactas para su altura y caudal, su proveedor de turbina debe ser capaz de proporcionarle algunas estimaciones preliminares de eficiencia, así como algunas ideas para la optimización del mismo.

Medición de la Longitud de la Línea de Transmisión

La última medida importante es la de la longitud de la Línea de Transmisión entre el generador, la subestación y el punto de Conexión Eléctrico al sistema eléctrico nacional. Al igual que la línea de tuberías o sistema hidráulico, sólo tiene que medir la distancia a lo largo de la ruta que va a ejecutar el cableado.

Las líneas de transmisión son muy parecidas a los sistemas hidráulicos. En lugar de mover el agua, se mueve la corriente eléctrica, pero se aplican los mismos fundamentos de las pérdidas por fricción.

Largas líneas de transmisión, en cables más pequeños y una corriente más alta, todas ellas contribuyen a la pérdida de energía por fricción. Usted puede minimizar estas pérdidas, pero la energía que usted puede utilizar realmente siempre será un poco menor, de lo que su generador está produciendo.

La pérdida de potencia a través de las líneas de transmisión es más evidente por una caída en la tensión. A medida que usa más energía, podrás ver la caída de tensión y bajará la energía y las luces brillaran menos.

Hay tres maneras de reducir o compensar pérdidas, en las líneas de transmisión:

1. Acortar la línea de transmisión.
2. Utilizar un cable más grande.
3. Aumentar el voltaje en la línea de transmisión.

En líneas de transmisión más cortas y con cables más grandes, se pueden reducir las pérdidas en la línea de cualquier sistema. Para distancias muy largas, puede ser apropiado, aumentar la tensión (a través de un transformador) para la transmisión, y luego reducir de nuevo el voltaje a lo normal (a través de otro transformador) en el punto de uso. El aumento de la tensión reduce la corriente necesaria para producir la misma cantidad de energía, lo que permite el uso de cables más pequeños.

Parte 3: Evaluación de los Sistemas de Turbina y Proveedores

Reconocer la Calidad y Durabilidad

Como hemos demostrado, un sistema hidráulico es a la vez simple y complejo. Los conceptos detrás de la energía hidráulica son simples: todo se reduce a la altura de la caída y el caudal. Pero un buen diseño requiere conocimientos avanzados de ingeniería y la operación confiable requiere de una cuidadosa construcción con componentes de alta calidad.

Qué hace que un sistema de turbina sea de Alta Calidad?

Pensar en un sistema de turbina en términos de eficiencia y fiabilidad, solo se da en un mundo perfecto, donde la eficiencia sería de un 100%. Toda la



energía dentro del agua se transforma en el eje giratorio. No habría ninguna turbulencia de aire o del agua, y no habría resistencia ni pérdida en las tuberías ni en los cojinetes. El segundo caso, sería en un sistema perfectamente equilibrado. Los signos de la pérdida de energía (el calor, la vibración y el ruido) estarían ausentes. Por supuesto, la turbina perfecta nunca se rompería o no requeriría de mantenimiento.



Componentes de calidad y mecanizado cuidadoso hacen una gran diferencia en el rendimiento de la turbina y la fiabilidad.

Es evidente que no existe un sistema perfecto de generación hidráulica ya que cualquier turbina de cualquier tipo o fabricación, nunca alcanzará ese grado de perfección. Pero es bueno tener estos objetivos en mente, porque la eficiencia y la fiabilidad se traducen en más potencia y en un menor costo por vatio. Éstas son sólo algunas de las cosas a considerar cuando se da la selección de un sistema hidráulico y de turbina.

Impulsor de Turbina

El impulsor es el corazón de la turbina. Aquí es donde la energía del agua se transforma en la fuerza de rotación que acciona el generador. Independientemente del tipo de turbina, sus alabes o paletas, también llamadas cuchillas, son responsables de la mayor captura de energía a través de la fuerza del agua.

La curvatura de cada superficie, frontal y trasera, determina cómo el agua será empujar su camino alrededor hasta que se cae.

Componentes de alta calidad y un mecanizado cuidadoso, pueden hacer una gran diferencia en el rendimiento de la turbina y su fiabilidad.

Mira para impulsores de todos de metal con superficies lisas y pulidas para eliminar el agua y la turbulencia del aire. De una sola pieza impulsores son normalmente más eficaz que los impulsores que están atornillados juntos. Impulsores de bronce de manganeso funciona bien para sistemas pequeños con agua limpia y caída hasta unos 500 pies. Alta resistencia a la tracción impulsores de acero inoxidable son excelentes para sistemas más grandes o condiciones abrasivas del agua. Todos los impulsores deben ser cuidadosamente equilibrados para minimizar la vibración, un problema que no sólo afecta a la eficiencia, pero también puede causar daño en el tiempo.

Carcasa de la Turbina

La carcasa de la turbina debe estar siempre bien integrada y a la vez ser robusta, ya que ésta gestiona las fuerzas del agua de entrada, así como también la potencia en el eje de salida.

Además, su forma y dimensiones tienen un efecto significativo en la eficiencia. Por ejemplo, considere una turbina del tipo Pelton, como es una turbina de impulso, la cual es impulsada (valga la redundancia) por uno o más chorros de agua, y que gira sobre su eje sin mayor resistencia. Esto significa que tanto las fuerzas hidrodinámicas como las aerodinámicas, deben ser consideradas en el diseño de la carcasa.

Se deben minimizar las resistencias de las salpicaduras y de la pulverización, y tampoco debe causar problemas las llamadas aguas de escape ó aguas en la cola, sin embargo, también deben de ser de un tamaño y forma adecuados para minimizar las pérdidas debidas a las turbulencias del aire.

Del mismo modo, los alabes en los diseños de alto caudal, como los de caudal cruzado y turbinas del tipo Francis, deben ser precisamente diseñados para encauzar fácilmente grandes volúmenes de agua a través de la turbina sin causar bolsas de aire que generan turbulencia.

Busque una carcasa sin problemas de soldadura, la cual haya sido cuidadosamente estudiada y diseñada para el corredor o cuerpo de la turbina. Tenga en cuenta que tanto las fuerzas del agua y como el corredor o cuerpo de la turbina, estarán produciendo un torque considerable, por lo que el material de la caja y todos sus accesorios deben ser de alta resistencia. Las superficies de contacto, tales como las bridas y las tapas de acceso, debe poseer una mecanización fina, pulida y libre de fugas. Dado que el agua favorece la oxidación y la corrosión, asegúrese de que todas las superficies vulnerables estén protegidas con una capa de polvo de alta calidad o con pintura epóxica. Además todos los pernos deben ser de acero inoxidable.

Otras Consideraciones para una Turbina

Todas las superficies que llevan agua pueden afectar la eficiencia del sistema, desde la bocatoma de su tubería, la canaleta que lleva las aguas de cola, hasta la forma de desagüe de las aguas de su casa de máquinas. Siempre se debe de buscar superficies lisas y pulidas, sin curvas pronunciadas, con inyectores y paletas de control de caudal, los cuales deben ser finamente mecanizados, para evitar así, ondulaciones apreciables o poros.

La eficiencia es importante, pero también lo son la durabilidad y la fiabilidad. Su proyecto hidroeléctrico debe entregar energía limpia sin interrupción. La calidad de los componentes - y su instalación - pueden hacer una gran diferencia en la vida útil de su equipo.

Siempre busque un trabajo meticuloso en el diseño y construcción de los sistemas de sellado, del material utilizado en el eje y su mecanizado, y en todos los componentes relacionados. Preste especial atención a la selección y montaje de los rodamientos, ya que deben girar suavemente, sin ruidos ni resistencia.

Su Proveedor de Turbina

En lo que respecta a los proveedores, no hay sustituto para la experiencia. Aunque los principios de energía hidráulica se pueden aprender internamente, es la experiencia en el mundo real, la que enseña tanto en los aspectos más destacados y como en las dificultades mínimas, como podría ser el desviar el agua de un arroyo, la presurización, y la forma de direccionamiento del caudal hacia la turbina. Un proveedor de turbinas, con muchos años de experiencia en campo, será de gran valor para usted, ya que puede utilizar toda esa experiencia en su diseño y la construcción de su sistema hidráulico.

Busque un proveedor con experiencia que se especialice en el tamaño y el tipo de sistema hidráulico que usted tiene la intención de comprar o construir. Un buen proveedor trabajará con usted lado a lado, a partir de las mediciones de altura y caudal, le ayudará a determinar el tamaño de la tubería adecuada, también a determinar la Caída Neta de su proyecto, el Caudal de Diseño, las especificaciones de la turbina, el sistema de transmisión, el mejor generador y el adecuado Sistema de Gestión de Carga.

Usted debe poder contar con su proveedor para que él le haga sugerencias para que le apoye en la optimización de la eficiencia y la fiabilidad, incluidos sus efectos sobre el costo versus rendimiento.

Un proveedor de turbinas "bueno" debe ser su socio, y debe poseer un interés personal y genuino en el éxito de su proyecto. Después de todo, estamos seguros que un cliente satisfecho es la mejor referencia para futuros negocios.



Guía para la Generación de Energía Hidroeléctrica.

Pensamientos Finales

Esperamos que haya encontrado esta guía para Centrales Hidroeléctricas útil y de beneficio para usted y su proyecto.



Todas las turbinas hidráulicas de Canyon Hydro son cuidadosamente inspeccionadas antes del envío.

Admitimos que sólo hemos rasguñado la superficie de este tema tan importante para usted y para nosotros, además estaríamos muy contentos de poder apoyarle y participar en el diseño de su proyecto hidroeléctrico cuando usted lo considere apropiado

Como usted lo ha visto, los conceptos detrás de la energía hidráulica son simples. El agua da movimiento a una turbina, la turbina hace girar un generador, y la electricidad comienza a generarse. Incluso un novato con poca o ninguna experiencia podría producir algún sistema con hidroelectricidad.

Como podrá haber notado nosotros hacemos mucho hincapié en la eficiencia y la durabilidad para sacar la máxima rentabilidad de su dinero que sabemos fue duramente ganado.

A menos que usted tenga mucha más agua de la que necesita, usted quiere exprimir cada vatio posible de su arroyo. Usted también querrá un sistema sólido que provea la entrega de energía confiable y continua año tras año. No es sorprendente que los sistemas que construimos en Canyon Hydro estén a la altura de los estándares que se hacen hincapié a lo largo de esta guía.

Tenemos que admitir que nos encantan las hidroeléctricas. Nos da gran gusto y satisfacción la búsqueda de nuevas formas de crear generación de energía limpia a través de sistemas hidroeléctricos, los cuales deben ser siempre, más eficientes, duraderos, fáciles y prácticos.

Gracias por tomarse el tiempo de leer nuestra **Guía para la Generación de Energía Hidroeléctrica**. Si usted cree que podemos ser de ayuda para su proyecto hidroeléctrico, por favor póngase en [contacto](#) con nosotros.

Para mayor información, comuníquese con nosotros:

Evolución Energética, S.A.

+502 2458-4113

GeneracionEnergia@evolucionenergetica.com

<http://www.evolucionenergetica.com>

