

7 LEVANTAMIENTO DEL SITIO

7.1 Potencia de un Arroyo
7.2 Equipos para las Mediciones.
7.3 Medición del Desnivel
7.4 Medición del Caudal

7.1 Potencia de un Arroyo

La cantidad de potencia que puede generar un arroyo depende de dos cosas. Estas son el *desnivel* y el *caudal*.

1) El *desnivel*, medido en metros (m), es la caída vertical desde el extremo superior de la tubería forzada hasta el extremo inferior de la tubería forzada. Entre mayor sea esta caída, mayor será la potencia y mayor será la velocidad de giro de la turbina. Es importante no confundir esta altura o caída con el largo de la tubería ni el tramo del arroyo.

2) El *caudal*, medido en litros por segundo (l/s), es la cantidad de agua que fluye por un punto dado del arroyo en un segundo.

Para calcular la *Potencia Hidráulica* multiplicar el *desnivel* por el *caudal* y por la fuerza de gravedad. La unidad de potencia es el Vatio (W). 1000 Vatios = 1 kilovatio (kW). Visto que la fuerza de gravedad es bastante constante (9.81m/s^2), la fórmula para la Potencia Hidráulica puede escribirse a como sigue:

$$\text{Potencia Hidráulica (W)} = \text{desnivel (m)} \times \text{caudal (l/s)} \times 9.81$$

Ejemplo: Calcular la potencia de un arroyo

En una finca en el Oeste de Nepal, hay un arroyo que tiene un *desnivel* máximo de 70 metros. Se ha medido un *caudal* de 5 litros por segundo. ¿Cuánta es la potencia disponible en este arroyo?

Respuesta: Potencia = desnivel x caudal x gravedad

$$= 70 \times 5 \times 9.81$$

$$= 3433 \text{ W o } 3.4 \text{ kW}$$

Es importante que se mida cuidadosamente el *desnivel*. En algunos sitios será obvio que hay más que suficiente *caudal*. En este caso no se requerirán de mediciones de *caudal* de precisión. En caso de dudas, es preferible repetir las mediciones. Es mejor subestimar el *desnivel* y *caudal* y no sobre-estimarlos.

7.2 Equipos para las Mediciones.

Existen varios aparatos que ayudan a medir el *desnivel* y el *caudal*. Algunos requieren de práctica para obtener resultados de precisión. A continuación describimos varios métodos para medir, incluyendo algunos que no requieren de aparatos ni capacitación especiales, sino que son técnicas sencillas con las cuales cualquier persona puede estimar la potencia de un sitio micro-hidro.

Para medir *desnivel*, el método de una manguera que se llena con agua es el de menor costo, aunque es lento usarlo. Otros métodos descritos son el uso de altímetros digitales, y niveles Abney (clinómetros). Estos métodos proporcionan una alternativa rápida y precisa, cuando se usen correctamente. Hoy en día se está volviendo más popular el altímetro digital, y se están disminuyendo los precios aunque un altímetro de calidad todavía cuesta unos \$200.

Los métodos de medición de *caudal* descritos a continuación son el método del balde y el método del flotador. Con el método del flotador se obtiene un resultado de menor precisión, pero es una técnica muy fácil de realizar. También hemos incluido la descripción del uso del medidor digital de conductividad para ejecutar una técnica llamada "el trago de sal". En muchos sitios, este método es mucho más práctico y exacto que las otras opciones. De igual manera como el altímetro digital, los medidores de conductividad poco a poco se están volviendo más disponible en diferentes países y tienen precios parecidos a los de los altímetros.

7.3 Medición del Desnivel

Las técnicas para medición de *desnivel*, resumidas en la Tabla 7-1 difieren en cuanto a costos, complejidad, y precisión. En general, entre más pequeño sea el *desnivel* disponible en un sitio dado, más importante será que se mida con precisión.

Se debería medir el *desnivel* en el lugar donde se va a construir la tubería forzada. Eso quiere decir que el diseño preliminar del sitio ya habrá sido estudiado, y los lugares probables para la construcción de la casa de máquinas y la cámara de carga. No se olvida, que se busca la configuración más corta de la tubería forzada mientras a la vez obteniendo el *desnivel* requerido. El *desnivel* requerido para un proyecto pico hidro como los descrito en este manual (*desnivel* mediano a alto) se requerirá de por lo menos 20 metros de *desnivel*, y mejor que sean 50 metros o más.

	Método	Costo	Precisión	Tiempo	Dificultad	Equipos Requeridos	Cantidad de Personas
1	Manguera llenada de agua	Bajo (\$20)	Se obtienen resultados de precisión con la práctica	Toma tiempo (3-6hrs)	Fácil de aprender	Manguera de plástico, cinta métrica, estacas de madera, cuaderno y lápiz.	2 o más
2	Altimetro	Mediano / Alto. (\$200 c.u.) Prestar o alquilar si se puede	+/-1m a +/-5m dependiendo del modelo (se logra mayor precisión con 2 altímetros)	Este es el método más rápido (menos de 1hra)	No requiere destreza especial	Altimetro digital, estacas de madera, cuaderno y lápiz	1 (pero mejor con 2)
3	Clinómetro Abney	Bastante bajo. Prestar o alquilar.	Buena precisión con la práctica	Bastante lento (hasta 2hrs depende de práctica)	Requiere de Práctica	Clinómetro Abney, cinta métrica larga, dos bastones (1.5m), estacas, cuaderno y lápiz.	2

Tabla 7-1 Comparación de métodos para medir desnivel en metros

Manguera Llenada de Agua

Este es el método más barato. No requiere de aparatos especializados. Un pedazo de manguera de plástico transparente, de aproximadamente 20 metros de largo y 10 o 12 mm de diámetro, es el equipo principal.

Llenar la manguera con agua de manera que cuando se tienen las dos puntas juntas, el nivel del agua quede a aproximadamente 30 cm debajo de los bordes. El agua dentro de la manguera siempre buscará el mismo nivel en ambas puntas. Se puede utilizar un embudo plástico para llenar la manguera con agua. Se deberá de evitar la presencia de burbujas de aire en la manguera, visto que pueden causar errores en las lecturas. Se quitan las burbujas dejándolas flotar hasta que salgan de la manguera (si hay burbujas muy pequeñas, éstas se pueden dejar, no harán daño).

Se requieren de por lo menos dos personas para realizar el trabajo con este método, pero si hay más personas ellos pueden ayudar en la toma de las mediciones y la anotación de las lecturas obtenidas. Procedimiento

Paso 1: Una persona tiene cada extrema de la manguera, y no permiten que se derrame el agua. Para comenzar, el asistente pone su punta de la manguera a la par del nivel esperado de la cámara de presión. (Se marca este nivel en una estaca clavada en el lugar de la cámara de presión.) Ahora ponga su dedo pulgar sobre la otra punta de la manguera para que no se derrame el agua, y camine cuidadosamente cuesta abajo. Una vez que tenga su ojo a aproximadamente el nivel esperado del agua en la cámara de presión, levante la manguera a nivel de tu cara, y quite su pulgar del extremo de la manguera. Ajustar su posición según sea necesario tal que el nivel del agua en la manguera empareje exactamente con el nivel de su ojo y el nivel marcado en la estaca que representa el nivel del agua en la cámara de

presión. Anote que se ha realizado una lectura, y mantengase inmovil.

Paso 2: Ahora el asistente camina cuesta abajo, pasándole a Ud. con su punta de la manguera tapada con el pulgar para que no salga el agua. A medida que el asistente vaya caminando más abajo, Ud. baja su extremo de la manguera hasta que el agua en la manguera llegue al nivel de las suelas de sus zapatos. El asistente deja de caminar hacia abajo cuando el nivel del agua alcance el nivel de sus ojos. Anótese que se ha tomado una segunda lectura.

Paso 3: El proceso se repite hasta que una punta de la manguera llega a ponerse en el lugar donde se espera instalar la turbina. Se totalizan la cantidad de lecturas tomadas. Para obtener el desnivel total, se multiplica la cantidad de lecturas por el promedio de las alturas de las dos personas (alturas desde las suelas de los pies hasta los niveles de los ojos). Se deberá repetir el recorrido dos o tres veces hasta asegurar que tengan el desnivel total bien medido. Es importante en este procedimiento que se señalen bien las posiciones de la cámara de presión y la casa turbina, para que se pueda medir el mismo tramo exacto cuantas veces sea necesario. En caso que haya más desnivel que lo requerido, se puede buscar un punto intermedio. También se debe medir con cinta métrica la distancia entre las dos estacas, para conocer la longitud requerida de la tubería forzada.

Una variante de este método se hace sellando una de las puntas de la manguera con un manómetro. Se tiende la manguera por tramos, y se anotan las lecturas de presión que da el manómetro en cada tramo, sumando estas presiones se calcula el desnivel total bruto. Es necesario calibrar el manómetro de antemano para obtener lecturas de presión confiables. Para calibrar el manómetro, utilice un edificio alto y una cinta métrica.

Altímetros Digitales



Figura 7-1 Utilización de un altímetro digital para medir desnivel en Kenya

El uso de altímetros digitales es el método más conveniente para medir el desnivel de un sitio. El altímetro mide elevaciones en base a variaciones de presión atmosférica. El usuario simplemente tiene que registrar una lectura en el lugar propuesto de la cámara de presión y otra en el sitio de la turbina, para determinar el desnivel. Se debería tomar la segunda lectura lo más pronto posible después de haber tomado la primera lectura para evitar que cambios en la presión atmosférica por motivos del tiempo (tormentas, etc.) afecten las lecturas.

La mejor manera de eliminar los efectos del tiempo es que se utilicen dos altímetros idénticos y se tomen las dos lecturas simultáneamente. En caso de utilizar dos altímetros, uno se mantiene fijo en una sola posición, sea en el lugar de la cámara de presión o la casa turbina. El altímetro fijo se utiliza para verificar cambios de presión atmosférica debidas al tiempo. El otro se utiliza para calcular el desnivel. Se anotan cualquier cambio de presión causado por el tiempo y posteriormente se utiliza esta información para corregir el valor final del desnivel. Es fácil repetir las mediciones varias veces para verificar el desnivel. Si los altímetros tienen un ajuste de cero, entonces poner ambos instrumentos en cero en el mismo momento. Acordarse del tiempo requerido para que la persona que lleve el altímetro móvil llegue al segundo lugar. Coordínense relojes y tórnense las nuevas lecturas al mismo tiempo. Se restan las dos lecturas para conocer el desnivel. Con los altímetros digitales se espera obtener resultados con una precisión de por lo menos +/- 5m, con algunos instrumentos es posible obtener una precisión de +/- 1m.

El Clinómetro Abney

El clinómetro Abney es un instrumento manual de topografía. Requiere de destreza para utilizarla, pero una vez que se domina la técnica, es capaz de medir desniveles con una precisión de +/- 5%. En este método, se mide el ángulo de inclinación del terreno. También se mide la distancia inclinada entre los puntos de lecturas. Con el uso de la trigonometría sencilla, entonces se calcula la diferencia en elevación entre los dos puntos. Sumando todas las lecturas en el tramo, se obtiene el desnivel bruto total.

Procedimiento para medición de desnivel utilizando un clinómetro Abney

Paso 1: Se necesitan dos bastones que tengan 1.5 a 1.6 metros de largo, que estén emparejados en cuanto al largo desde el piso al nivel del ojo (tienen que ser iguales, pero la longitud exacta no importa). Se coloca el primero en el sitio propuesto para la casa de máquinas y el segundo se lleva una distancia de aproximadamente 30m en dirección hacia la captación. Se necesita una vista limpia, así que eso puede afectar la ruta escogida. Es bueno amarrar una cinta de color brillante o blanco u objeto similar, al mismo nivel (nivel del ojo, sea la punta superior del bastón) en ambos bastones para poderlos ver a distancia.

Paso 2: Se mide la distancia entre las puntas superiores de los dos bastones, y se anota esta distancia (distancia d). Algunos clinómetros tienen un distanciómetro incorporado para tomar las lecturas de distancia, en caso contrario utilizar una cinta métrica larga.

Paso 3: Se lee cuidadosamente el ángulo entre las puntas superiores de los dos bastones, y se anota el ángulo en el cuaderno. Se tiene que mantener ambos bastones exactamente verticales, y el clinómetro descansa sobre uno de los bastones.

Paso 4: Este proceso se repite cuantas veces sea necesario hasta llegar al nivel propuesto del agua en la obra de toma o cámara de presión.

Paso 5: Los desniveles entre cada par de estaciones se calculan por medio de la ley de senos, y se suman para obtener el desnivel bruto total.

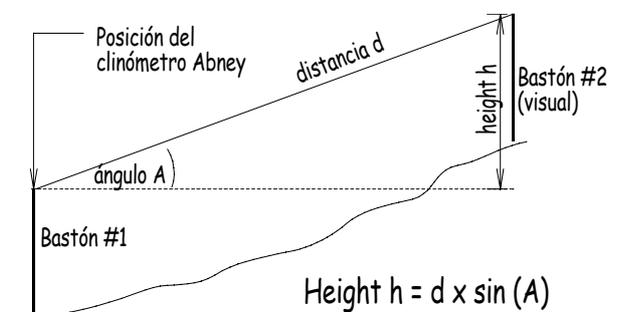


Figura 7-2 Calculos del desnivel entre dos puntos, utilizando un clinómetro Abney

	Método	Costo	Precisión	Dificultad	Tiempo	Aparatos requeridos	Cantidad de personas
1	Método del Balde (apropiado solo para caudales menores de aprox. 10 l/s)	Despreciable	Razonable / mala dependiendo del método utilizado y la experiencia	No difícil	10 minutos + tiempo para represar el arroyo en caso que se requiera	Balde y cronómetro	2
2	Método del Flotador	Despreciable	Mala, aunque puede dar resultados aceptable en canales parejos de lados paralelos	No difícil	30 minutos	Un flotador (pedazo de madera), cinta métrica, cronómetro	2
3	Trago de Sal	Alto (\$200). Prestar / alquilar un medidor	Mediana a Alta con la práctica ($\pm 5\%$)	Requiere cuidado	1 hora	Medidor de conductividad, Sal pesada en bolsas, balde, calculadora	1 o más

Tabla 7-2 Métodos apropiados para medir caudales pequeños (caudales menores de 50 l/s)



Figura 7-3 Medición de desnivel utilizando un clinómetro Abney en Nepal

Estación No.	Distancia D	Angulo A	$D \times \text{seno}(A)$
1	31.5 m	14°30'	7.89 m
2	29.0 m	7°15'	3.66 m

11	23.1 m	10°20'	4.14 m
		Desnivel total	57 metros

Tabla 7-3 Utilizando el clinómetro Abney, se miden y se apuntan las distancias y los ángulos entre varios puntos sobre la ruta entre la casa turbina y la obra de toma, para después calcular el desnivel total a como se demuestra en la tabla.

7.4 Medición del Caudal

La precisión con la cual se debe medir el caudal, depende del proyecto. La encuesta de la demanda y los estimados del desnivel disponible en el sitio, ayudan a determinar el caudal requerido. En muchos casos, el caudal disponible será más que suficiente para el proyecto, visto que los caudales requeridos para las pico hidro son pequeños. El tiempo más crítico del año es hacia finales de la temporada seca, cuando no haya caído lluvia en un buen rato. Este es el mejor momento para medir el caudal. La gente del lugar pueden decir si el nivel del agua en el

arroyo es típico para esa temporada del año, y pueden ayudar a quien esté realizando el levantamiento del sitio en estimar los caudales en otras temporadas del año. A continuación explicamos tres métodos de medición de caudal apropiados para medir caudales pequeños (menores de 50 litros por segundo). Un resumen de los tres métodos aparece en la Tabla 7-2.

Método del Balde

Un método sencillo de medir caudales pequeños (hasta aproximadamente 10 l/s) es con un balde y un cronómetro. No solo un balde, sino que otros recipientes grandes e impermeables, pueden utilizarse con tal que Ud. pueda determinar su volumen. Un balde de 15 litros es apropiado para los caudales más pequeños (3 litros por segundo o menores), y recipientes más grandes para caudales más grandes.

PASO 1: Medir el volumen del balde (en caso que no esté marcado)

Tómese un recipiente más pequeño y que tenga un volumen conocido. Por ejemplo una botella de agua de un litro. Llénese el balde con agua utilizando el recipiente más pequeño, y cuente cuantos litros toma para llenarse el balde. Una vez llenado el balde con la cantidad conocida de litros enteros, marque bien el nivel que tiene el agua en el balde.

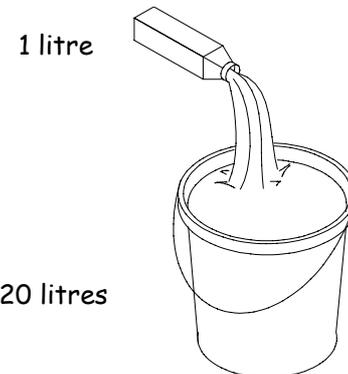


Figura 7-4 Utilizar un recipiente pequeño de volumen conocido para medir el volumen de un recipiente más grande.

PASO 2: Encontrar un sitio para medir el caudal.

Eso a veces puede ser difícil. Ud. necesita una manera de dirigir el agua del arroyo adentro del balde. Es importante que el escape de agua sea el mínimo posible. En caso que escape un poco de agua, estimar el porcentaje no medido, y sumar este porcentaje al caudal calculado.

PASO 3: Realizar las mediciones.

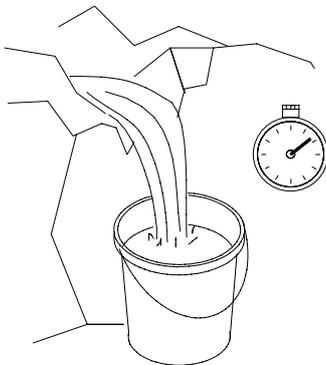
Utilizando un cronómetro o un reloj normal que tiene manecilla de segundos, observar y anotar cuántos segundos tarda el chorro de agua en llenar el balde. Repetir la medición por lo menos 3 veces y promediar los resultados. En caso que el balde se llena en menos de 5 segundos, los resultados no tendrán mucha precisión. Para mayor precisión, será mejor que busque el recipiente más grande que puede hallar, o intente otro método para la medición del caudal.

PASO 4: Calcular el caudal en litros por segundo.

Ejemplo. Si el volumen del balde es de 15 litros y tarda 8 segundos en llenarse, entonces el caudal es de $15/8$ l/s o sean 1.87 litros por segundo

Sugerencias de maneras para hacer que el agua fluye a caer dentro del recipiente

1. Cascada Natural



2. Construir una represa de cualquier material que haya a mano, y utilizar una canaleta hecha de madera, una lámina de zinc corrugado, o el tallo de un guineo para canalizar el agua hacia el recipiente



3. Construir una represa sencilla y utilizar un tubo



Metodo del Flotador.

Este método funciona bien en canales. Puede utilizarse también en ríos y arroyos aunque con menos precisión. Dos tipos de información se necesitan para calcular el caudal por este método. Primero el área seccional del agua fluyendo por el arroyo o canal. Y segundo la velocidad con la cual el agua está fluyendo. La velocidad se mide por medio de un flotador, observando y anotando el tiempo que tarda para flotar desde un punto corriente arriba, hasta un punto a una distancia conocida corriente abajo.

Procedimiento

PASO 1: Encontrar el área seccional (AS).

La dificultad en encontrar el área seccional depende del tipo de lecho del agua. Es mucho más fácil en un canal de lados regulares y lisos, que en un arroyo de poca profundidad con lecho rocoso.

Para estimar el área seccional del cauce en un punto dado, mídase primero el ancho y después tómesese mediciones de la profundidad del agua a intervalos regulares a través de la sección. Dibujar los resultados de estas mediciones en papel cuadrado como se ve en la Figura 7-5. Unir los puntos medidos con líneas rectas sobre el papel cuadrado para obtener una área cerrada. Contando los cuadrillos encerrados se obtiene un estimado del área seccional. Multiplíquese la cantidad de cuadrillos por el área que cada cuadrillo representa en m^2 . Repetir estas mediciones en el centro y también en el otro extremos del tramo de prueba del cauce (el

tramo debería ser de aproximadamente 10 metros de largo). De los tres valores de AS medidos, se calcula el promedio.

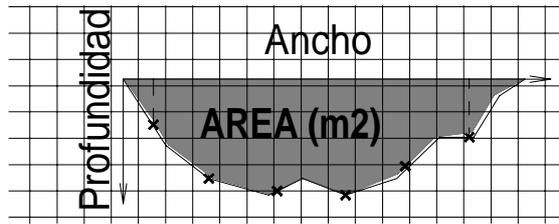


Figura 7-5 Se utiliza papel cuadrado para estimar el área seccional.

PASO 2: Medir la velocidad del flujo (velocidad superficial).

Una distancia (L) de 10 metros entre los puntos de medición deberá ser suficiente. Tirar el flotador al agua corriente arriba del primer punto. Comenzar la lectura con cronómetro cuando el flotador pase el primer punto, y terminarla cuando pase el segundo punto. Repetir esta medición por lo menos tres veces para verificar que tenga resultados consistentes. Para la prueba, escoger la sección más recta y pareja del cauce.

PASO 3: Calcular el caudal en litros por segundo

El caudal es el producto de la área seccional promedio del agua multiplicada por la velocidad promedio de flujo. Visto que el agua fluye más rápido en la superficie que en las profundidades, hay que introducir un factor que compensa estas variaciones. La diferencia entre la velocidad superficial del agua que medimos con el flotador, y la velocidad promedio real, depende de la naturaleza del arroyo. Abajo aparecen unos valores aproximados de "factores de corrección de velocidad". Se indica también el nivel de precisión que se puede esperar obtener por este método de estimación de caudal.

Tipo de arroyo	Factor de corrección de velocidad	Precisión
Canal rectangular con lados y lecho lisos	0.85	Buena
Un río profundo y lento	0.75	Razonable
Arroyo pequeño de lecho parejo y liso	0.65	Mala
Arroyo rápido y turbulento	0.45	Muy mala
Arroyo muy poco profundo de lecho rocoso	0.25	Muy mala

La ecuación que se utiliza para calcular el caudal es:

$$Q = AS_{prom} \times V_{superficial} \times \text{Factor de Corrección}$$

- en donde
 Q= Caudal (m³/s)
 AS_{prom}= Área seccional promedio (m²)
 V_{superficial}= Velocidad medida sobre la superficie (m/s)

Multiplicar el resultado por 1000 para conocer el caudal en litros por segundo. Obviamente, la precisión del método del flotador es limitado debido al requerimiento de los factores de corrección y por la dificultad en medir el área seccional de la mayoría de los arroyos.

Ejemplo Calcular el Caudal utilizando el Método del Flotador

¿Cuánto es el caudal en un pequeño cauce donde se han obtenidos los siguientes datos?
 1) El agua en el cauce tiene 25 cm de profundidad, los lados son aproximadamente cuadrados, y el ancho es de 40 cm. Los lados son bastante lisos.
 2) Cuando se flotó un palito por una sección del cauce de 20m de largo, tardó a) 36 b) 40 y c) 44 segundos

Respuesta:
 (i) El área seccional del agua fluyendo en el cauce es
 = 0.25m x 0.4m
 = 0.1 m²
 (ii) Tiempo promedio
 = (36+40+44)/3
 = 40 segundos
 Velocidad superficial promedio
 = 20metros/40segundo
 = 0.5 m/s
 (iii) Factor de Corrección para una cauce liso
 = 0.85
 (iv) Caudal = Area x velocidad x factor de corrección
 = 0.1 x 0.5 x 0.85
 = 0.0425 m³/s
 El caudal en litros por segundo
 = 0.0425 x 1000
 = 42.5 litros por segundo.

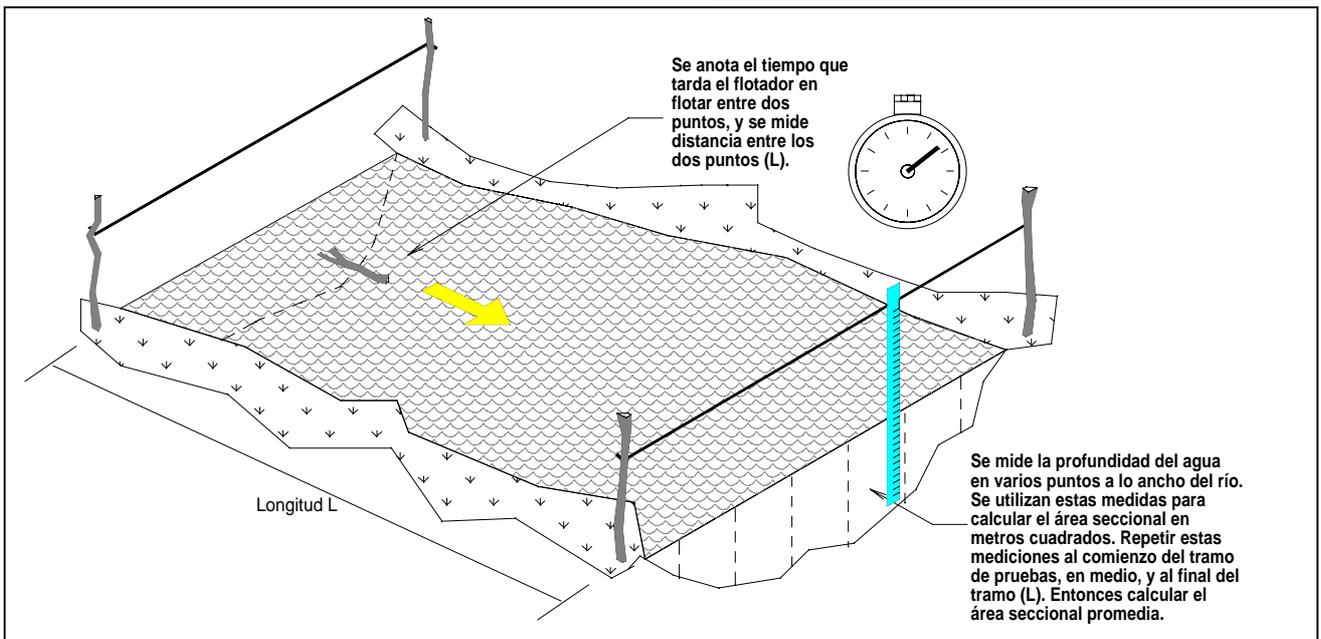


Figura 7-6 El método del flotador para medir caudal

El método del Trago de Sal

Este método requiere de cálculos más complicados que los otros métodos, pero es más fácil ejecutar en el campo. Adquiriendo un poco de práctica, éste puede ser el método más conveniente rápido y preciso para medir el caudal de un arroyo.

Se requiere de un medidor portátil de conductividad, y algún medio para pesar la sal con precisión. Medidores digitales de conductividad se están volviendo cada vez más comunes y se espera que eventualmente estarán disponibles en todas las áreas donde se realizan instalaciones pico hidro. Ayuda tener acceso a una computadora. Una hoja de cálculo permite calcular rápidamente el caudal en base a los datos de campo. Si no se dispone de una computadora, se puede también utilizar una calculadora y papel cuadriculado para calcular los resultados.



Figura 7-7 Medidor portátil de conductividad y bolsas cuidadosamente pesadas de sal

Este método da una precisión de 5% cuando se lleve a cabo con cuidado. Se basa en el hecho que la conductividad del agua de un arroyo aumentará cuando se le añada sal. El caudal se conoce mediante la medición de la velocidad y la concentración de una nube de agua salada, a medida que fluye por el arroyo.

Procedimiento:

PASO 1: Añadir la solución de agua salada al arroyo

Una cantidad de sal cuidadosamente pesada se mezcla con un poco de agua en un balde, hasta que disuelva completamente. La cantidad de agua en el balde no importa, pero una vez añadida la sal, no se debe partir el agua ni derramar ni una gota. Anotar el peso de la sal utilizada, al gramo. Entonces toda la solución de agua salada se echa al arroyo. La cantidad de sal a utilizar depende del tamaño del arroyo. Como estimado preliminar, se utiliza aproximadamente 25 gramos de sal por cada 5 litros por segundo de caudal (habrá que adivinar el caudal para el primer intento).

PASO 2: Anotar la conductividad aguas abajo.

Se coloca el probo del medidor de conductividad en una parte del arroyo donde el agua fluye con rapidez, a una distancia de aproximadamente 25 a 30 metros aguas abajo de donde se echó la solución de agua salada. A eso se le llama la "conductividad de fondo". En cuanto las lecturas de conductividad comiencen a aumentar, anotar cada 5 segundos. Usualmente el aumento de conductividad comienza 2 o 3 minutos después de haber vertido el agua salada aguas arriba. Si dentro de 15 minutos la conductividad no ha

subido a por lo menos dos veces la conductividad de fondo, habrá que repetir el proceso utilizando una cantidad mayor de sal. Se sigue tomando las lecturas cada cinco segundos hasta que la conductividad vuelva a su nivel de fondo. Normalmente eso tarda entre 10 a 15 minutos. Cuando sea posible, seleccionar una escala del medidor de conductividad que sea justamente lo suficiente para ver la conductividad máxima a leer durante la prueba. Eso puede causar que se echen a perder el primer corrido de resultados.

Las lecturas típicamente se dan en unidades de Siemens (μS) las cuales son unidades de conductividad equivalentes a ($ohms^{-1} \times 10^{-6}$).

PASO 3: Graficar el cambio de concentración de sal como función del tiempo

Se trazan las lecturas de conductividad como función de tiempo en papel cuadriculado. La forma de la curva permite evaluar los resultados. Una curva regular, con un máximo de por lo menos el doble de la conductividad de fondo en el centro, indica que se ha realizado exitosamente el procedimiento. En caso que la curva salga asimétrica o dispareja, habrá que repetir el procedimiento.

PASO 4: Calcular el área debajo de la curva

Deberá de conocerse el área debajo de la curva en el gráfico para conocer el caudal. Eso se hace sea contando los cuadritos que están debajo de la curva en el papel cuadriculado, o sea sumando todas las lecturas con la hoja de cálculo en la computadora. En caso de contar los cuadritos manualmente, se debe tomar en cuenta las escalas que se han ocupados en los ejes del gráfico.

PASO 5: Calcular el caudal

La ecuación para calcular el caudal es la siguiente:

$$Q = \frac{M \times k^{-1}}{A}$$

donde:

Q = caudal (l/s)

M = masa de sal (mg)

k^{-1} = factor de conversión ($ohm^{-1}/mg \ l^{-1}$)

A = área debajo de la curva ($s \times 10^{-6} \times ohm^{-1}$)

La conductividad se convierte en concentración de sal por medio de la multiplicación por un factor de conversión que toma en cuenta la temperatura del agua. El factor de conversión, k^{-1} tiene unidades de $ohm^{-1}/mg \ l^{-1}$. Cuando la temperatura es $22^{\circ}C$, el valor de k^{-1} = 2.04.

Nota: Se tiene que convertir la masa de la sal a miligramos ($gramos \times 10^3$) antes de usarla en la ecuación.

Medición de Caudal por el "Trago de Sal"	
Lugar:	
Fecha:	
Hora:	
Temperatura del Agua:	22 °C
Desnivel Neto:	50 metros
Masa de sal utilizada:	25000 milligrames
Conductividad de fondo:	29.2 microSiemens
Periodo entre lecturas:	5 Seconds
Factor de Conversión, k:	2.04 ohm-1/mg l-1
Caudal=masa de sal (mg) x factor k / área debajo de la curva	
Area debajo de la curva = Alteración total de la conductividad x período entrée lecturas	
Area debajo de la curva =	10698
Caudal	4.77 litros por segundo
Potencia Disponible = Caudal x Desnivel neto x constante de gravedad	
Power Available =	2338 Ivatios

Caudal en la Cámara de Presión,.....

Tiempo	Lectura de Conductividad	Aumento en La Conductividad	Tiempo	Lectura de Conductividad	Aumento en La Conductividad
(segundos)	Ohmios ⁻¹ x 10 ⁻⁶	Ohmios ⁻¹ x 10 ⁻⁶	(segundos)	Ohmios ⁻¹ x 10 ⁻⁶	Ohmios ⁻¹ x 10 ⁻⁶
0	29.2	0	230	36.2	0.7
5	29.3	0.1	235	35.1	5.9
10	29.3	0.1	240	34.3	5.1
15	29.3	0.1	245	33.8	4.6
20	29.3	0.1	250	33.3	4.1
25	29.3	0.1	255	32.9	3.7
30	29.5	0.3	260	32.5	3.3
35	29.8	0.6	265	32.3	3.1
40	30.3	1.1	270	31.8	2.6
45	31.5	2.3	275	31.6	2.4
50	33.5	4.3	280	31.4	2.2
55	38	8.8	285	31.3	2.1
60	43.7	14.5	290	31.2	2
65	51.7	22.5	295	31.1	1.9
70	62.9	33.7	300	31	1.8
75	75.4	46.2	305	31	1.8
80	88	58.8	310	29.9	0.7
85	100.5	71.3	315	29.9	0.7
90	114.9	85.7	320	29.8	0.6
95	128.1	98.9	325	29.8	0.6
100	139.4	110.2	330	29.8	0.6
105	148.6	119.4	335	29.7	0.5
110	155.1	125.9	340	29.7	0.5
115	156.8	127.6	345	29.7	0.5
120	154.9	125.7	350	29.6	0.4
125	150.2	121	355	29.6	0.4
130	144.4	115.2	360	29.6	0.4
135	139.6	110.4	365	29.6	0.4
140	130.1	100.9	370	29.5	0.3
145	119.6	90.4	375	29.5	0.3
150	108.8	79.6	380	29.5	0.3
155	100	70.8	385	29.4	0.2
160	97.7	68.5	390	29.4	0.2
165	84.4	55.2	395	29.4	0.2
170	77.8	48.6	400	29.4	0.2
175	69.4	40.2	405	29.4	0.2
180	62.1	32.9	410	29.3	0.1
185	57.5	28.3	415	29.3	0.1
190	54	24.8	420	29.3	0.1
195	49.9	20.7	425	29.3	0.1
200	47.3	18.1	430	29.3	0.1
205	44.3	15.1	435	29.3	0.1
210	41.6	12.4	440	29.3	0.1
215	40.2	11	445	29.3	0.1
220	38.5	9.3		Total	2139.6
225	37.1	7.9			

Figura 7-8 Resultados del método 'trago de sal' para la medición de caudal pueden analizarse rápidamente mediante una hoja de cálculo computaril.

8 ESQUEMAS PARA PICO HYDRO

- 8.1 El "Pico Power Pack"
- 8.2 Inspiración para el diseño del "Pico Power Pack"
- 8.3 La Turbina

8.1 El 'Pico Power Pack'

El 'Pico Power Pack' es un nuevo diseño de sistema pico hidro. Es de bajo costo, confiable, y apropiado para la electrificación de aldeas en áreas remotas. Para información pertinente a la fabricación de este diseño, un manual complementario titulado "Pico Power Pack - Instrucciones para Fabricación y Ensamblaje" ha sido preparado.

8.2 Inspiración para el Diseño del 'Pico Power Pack'

El "Peltric Set": Distintos sistemas pico hidro han sido desarrollados en varios países para resolver la creciente demanda por electrificación rural en comunidades remotas. El Peltric Set y los pico hidros FDTA en particular, han sido la inspiración para el diseño del 'Pico Power Pack.' El 'Peltric Set' fué desarrollado por Kathmandu Metal Industry en Nepal y se demuestra en la foto de la Figura 8-1. Un generador montado en posición vertical es acoplado directamente a una turbina Pelton. La tapadera o carcasa de la turbina forma también la base para el generador lo cual resulta en un diseño sencillo y económico en el uso de materiales. Se genera electricidad CA lo cual significa que la potencia puede ser

distribuida económicamente sobre distancias de cientos de metros. Hay aproximadamente 500 unidades de este tipo actualmente en servicio, proporcionando electricidad a aldeas en Nepal.

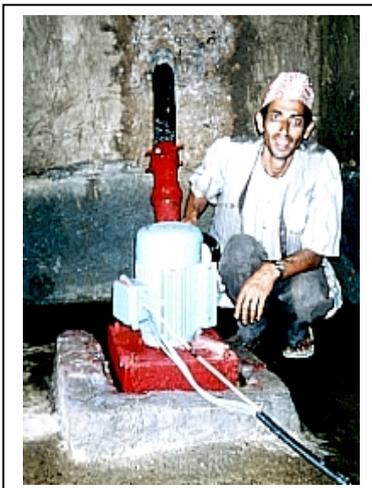


Figura 8-1 'Peltric Set' abastece de

electricidad de manera económica a muchas aldeas rurales en Nepal

Sistema CD de Bajo Costo: Otro sistema distinto ha sido diseñado por FDTA (Fundación para el Desarrollo de Tecnologías Apropriadas) en Colombia, Sudamérica. En este diseño el rodete de la turbina también es una rueda Pelton, pero se utiliza un alternador automotriz de 12V CD como generador. La fuerza se transmite de la turbina al alternador por medio de poleas y bandas montadas en una base sencillo hecho de angulares la cual es fácil de fabricar. Una instalación de este diseño se demuestra en la Figura 8-2. Visto que el eje de la turbina está en posición horizontal, se hace posible operar otras maquinarias con la fuerza hidro, además del generador. Este diseño ha sido utilizado, por ejemplo, para proporcionar fuerza para operar una refrigeradora mecánica. No requiere de otro sistema de control, más que el regulador de voltaje que viene integrado en el alternador automotriz. Visto que la electricidad generada es de CD (corriente directa), no requiere de regulación de la frecuencia, pero la electricidad deberá ser utilizada en la casa turbina o las cercanías inmediatas.

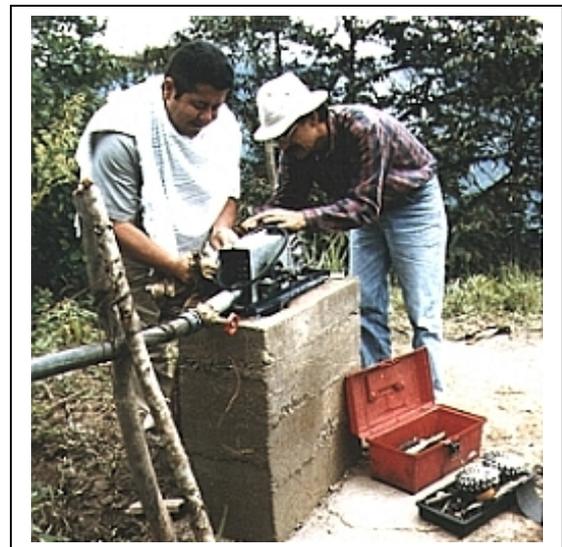


Figura 8-2 Un fabricante Colombiano (a la derecha) instala un sistema pico hidro de CD.

El "pico power pack" combina la base de bajo costo hecho de angulares, y el eje en posición horizontal de la unidad colombiana, con el diseño sencillo del rodete Pelton acoplado directo al eje de un motor de inducción del diseño Peltric Set. En la Table 8-1 se comparan aspectos importantes de los tres diseños.

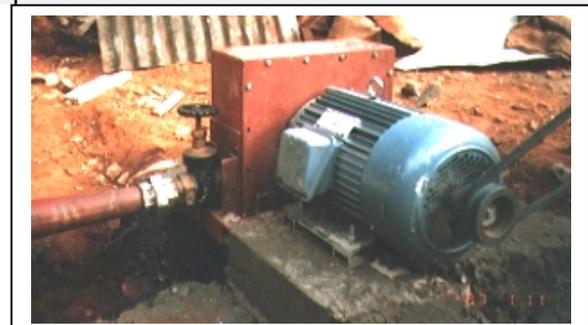


Figura 8-3 Un Pico Power Pack instalado

Tipo de Sistema Pico Hidro	Tipo de electricidad que Genera	Cantidad de potencia generada	Cantidad de casas que se pueden electrificar	Possibilidad de utilizar potencia mecánica	Facil acceso a la tobera y el rodete	Costo
Peltric Set	CA	500-5000W	1 a 300	No	No	Costo Bajo
Sistema Colombiano c/Alternador	CD	50 - 500 W	1 o 2	Sí	Sí	Costo Muy Bajo
Pico Power Pack	CA	500-5000W	1 a 300	Sí	Sí	Costo Bajo

Table 8-1 Esta tabla presenta comparaciones de tres diseños de sistemas pico hidros

Los componentes del 'Pico Power Pack' se demuestran en la Figura 8-4. Se monta el generador en posición horizontal sobre una base de angulares. Visto que se genera corriente CA (Corriente Alterna), el sistema es apropiado para la electrificación de casas a distancias de hasta un kilómetro de la casa turbina, como es el caso también con el 'Peltric Set'. La tapadera quitable facilita la inspección y limpieza de la turbina y la tobera.

Se extiende el extremo del eje del generador al lado opuesto de donde se monta la turbina. Eso permite montar una polea. Pequeñas máquinas como molinos, esmeriles o sierras pueden operarse por transmisión de bandas. Así la potencia hidro puede ser aprovechada para una variedad de propósitos productivos. Los ingresos adicionales que pueden percibirse de la operación de un pequeño negocio aprovechando la potencia pico hidro, facilita el repago de la inversión.

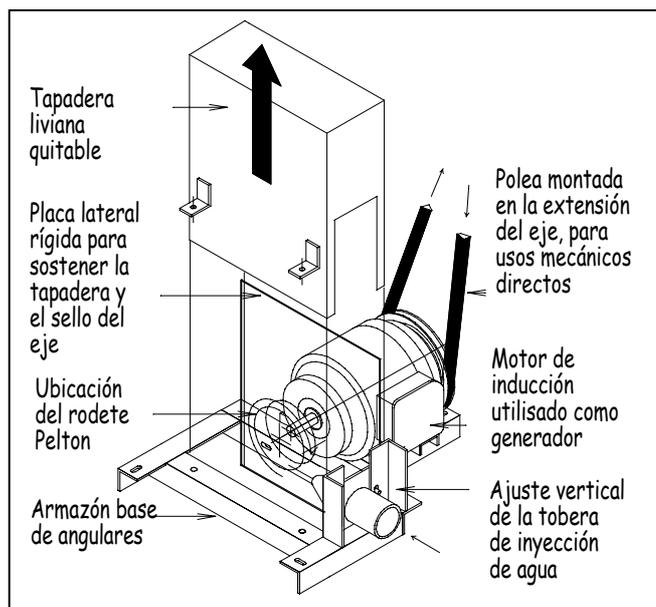


Figura 8-4 El Pico Power Pack genera electricidad CA y también permite operar equipos mecánicos.

Tabla 8-2 Conveniencia de diferentes diseños de turbinas para pico hidro

Nombre de la Turbina	Rango de Desnivel	Costo por 5kW	Mantenimiento	Daño por partículas en el agua (sedimentos)
Pelton	Mediano y alto	Bajo	Sencilla y robusta, por ende requiere poco mantenimiento	Poco afectada por partículas en el agua
Flujo Cruzado (Michel-Banki)	Mediano y bajo	Bajo / Mediano	Requiere más mantenimiento que la Pelton	Poco afectada por partículas en el agua
Turgo	Mediano y alto	Mediano - es más complejo que la Pelton	Requiere poco mantenimiento	Poco afectada por partículas en el agua
Propela	Bajo	Low / Medium	Requiere más mantenimiento que la Pelton	Más afectado por partículas a través del tiempo
Bomba-como-Turbina	Mediano y bajo	Bajo	Requiere más mantenimiento que la Pelton	Más afectado por partículas a través del tiempo
Francis	Mediano	Anto - antieconómico para 5 kW	Mantenimiento más complicado	Inapto para uso con aguas que llevan partículas (sedimentos)

8.3 La Turbina

Este es el componente del sistema que aprovecha la potencia hidráulica y la convierte en potencia mecánica rotativa. Varios diseños de turbinas han sido desarrolladas. Algunos de las características se ven comparadas en la Tabla 8-2. El tipo de turbina utilizada en el Pico Power Pack es la rueda Pelton.

La Turbina Pelton

El rodete estilo Pelton se utiliza en muchos sistemas de potencia hidráulica cuando el desnivel sea mayor de 20 metros. Cuesta relativamente poco fabricarlo, pero a la vez es lo suficientemente fuerte para tener una larga vida útil. La carcasa o tapadera y la tobera también son fáciles de construir, y una turbina Pelton, aunque sea muy pequeña, puede trabajar con buena eficiencia, convirtiendo la mayor parte de la potencia hidráulica en potencia mecánica para hacer girar el generador.



Figura 8-5 Rodete Pelton fabricado a nivel local en Sri Lanka, $D_p = 180$ mm

Como funciona

Una turbina Pelton tiene una o más toberas que dirigen chorros de agua bajo presión a impactarse en cucharas de una forma especial que están sujetadas a una rueda. Las cucharas absorben la fuerza del chorro de agua y empujan la rueda para que gire a altas velocidades, por ejemplo a 1500 revoluciones por minuto. La forma de la cuchara es diseñada para dividir el chorro de agua en dos mitades y deflección los dos chorros nitidamente fuera del rodete para que no interfieran con el chorro de agua entrante ni con las otras cucharas. Una melladura en la

punta de la cuchara permite que la próxima cuchara se mueva a una buena posición para recibir el impacto del chorro de agua mientras que la primera esté todavía en contacto con el chorro.

El Tamaño Correcto del Rodete Pelton

El tamaño de una rueda o "rodete" Pelton se mide por el Diámetro Primitivo (D_p). El diámetro primitivo es dos veces la distancia del centro del chorro de agua al centro del eje del rodete.

El tamaño del rodete de la turbina para un sistema pico hidro usualmente es igual o menor de 200mm D_p . Esta distancia se utiliza porque es el punto donde el chorro impacta en las cucharas, y de ella depende la rapidez de giro del rodete.

Entre más pequeño el rodete, más rápido va a girar. Cuando la turbina gira con rapidez, se hace posible el acoplamiento directo del generador, lo cual reduce el costo de los componentes y simplifica el sistema porque no se requieren poleas y bandas.

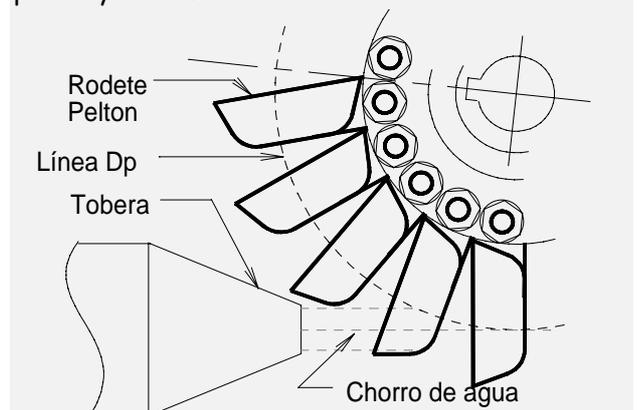


Figura 8-6 La Tobera dirige el chorro de agua a impactar en el D_p del rodete de la turbina

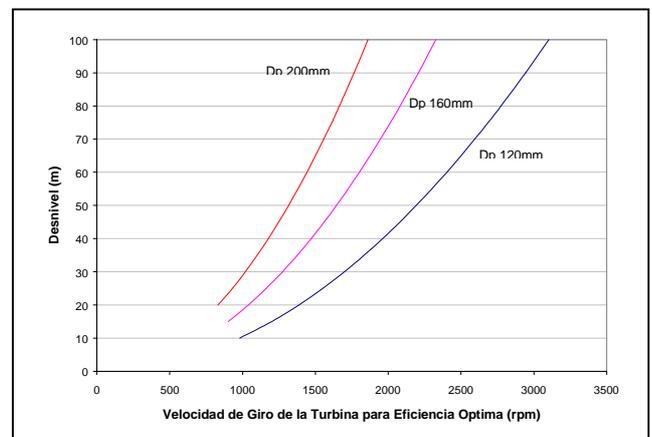


Figura 8-7 Gráfico demostrando los rangos de operación de tres rodetes Pelton de distintos diámetros