

Microhidrogeneración

Emil Hernández Arroyo



Escuela de Ingeniería Escuela de Ingeniería



Universidad
Pontificia
Bolivariana

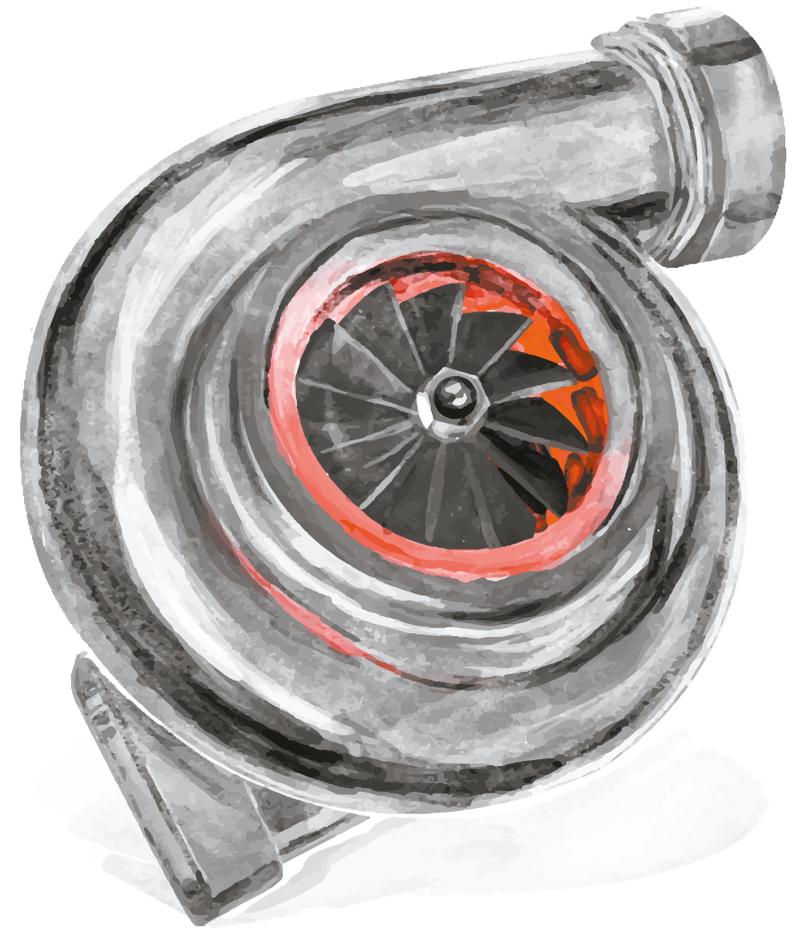


Emil Hernández Arroyo

Licenciado en Física-Matemática de la Universidad de Pamplona-Colombia, Ingeniero Mecánico de la Universidad Industrial de Santander (UIS), Especialista en Docencia universitaria de la Universidad Cooperativa de Colombia (UCC), Magíster en Controles Industriales de la Universidad de Pamplona. Docente de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) en las áreas Termofluidos, Turbomaquinaria y Energías renovables.

Microhidrogeneración

Emil Hernández Arroyo



621.24
H557

Hernández Arroyo, Emil, autor
Microhidrogeneración / Emil Hernández Arroyo – Medellín: UPB. Seccional Bucaramanga, 2020.
128 p: 16.5 x 23.5 cm.
ISBN: 978-958-764-843-0

1. Máquinas hidráulicas – 2. Tecnologías renovables – 3. Generación de energía – I. Título

CO-MdUPB / spa / rda
SCDD 21 / Cutter-Sanborn

© Emil Hernández Arroyo
© Editorial Universidad Pontificia Bolivariana
Vigilada Mineducación

Microhidrogeneración

ISBN: 978-958-764-843-0
DOI: <http://doi.org/10.18566/978-958-764-843-0>
Escuela de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Mecánica
Dirección General de Investigaciones
Seccional Bucaramanga

Gran Canciller UPB y Arzobispo de Medellín: Mons. Ricardo Tobón Restrepo
Rector General: Pbro. Julio Jairo Ceballos Sepúlveda
Rector Seccional Bucaramanga: Presbítero Gustavo Méndez Paredes
Vicerrector Académico: Álvaro Gómez Fernández
Vicerrectora Académica Seccional Bucaramanga: Ana Fernanda Uribe Rodríguez
Decano de la Escuela de Ingenierías: Edwin Dugarte Peña
Director de la Facultad de Ingeniería Mecánica: Edwin Jesús Córdoba Tuta
Gestora Editorial Seccional Bucaramanga: Ginette Rocío Moreno Cañas
Editor: Juan Carlos Rodas Montoya
Coordinación de Producción: Ana Milena Gómez Correa
Corrección de Estilo: Juana Manuela Montoya Velásquez
Diagramación: Ana Mercedes Ruiz Mejía
Ilustración: Vecteezy.com

Dirección Editorial:

Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2020
Correo electrónico: editorial@upb.edu.co
www.upb.edu.co
Telefax: (57)(4) 354 4565
A.A. 56006 - Medellín - Colombia

Radicado: 1623-16-08-17

Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito sin la autorización escrita de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.

Contenido

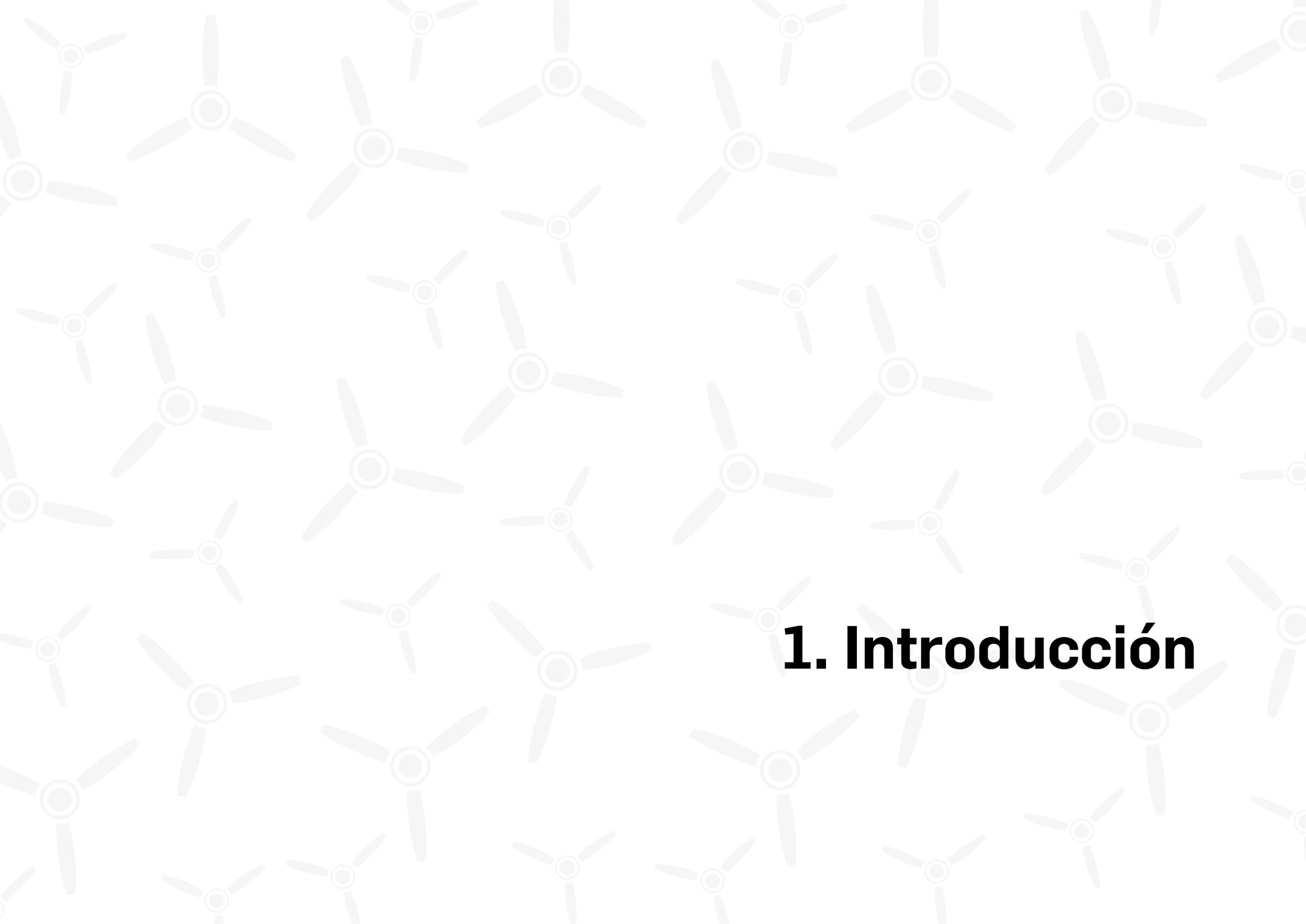
Prólogo.....	7
1. Introducción.....	9
1.1 Conceptos generales.....	10
1.2 Hidráulica y electricidad.....	10
1.3 Sistemas microhídros.....	17
Ejercicios capítulo 1.....	31
2. Clasificación de las turbinas.....	39
2.1 Turbina Pelton.....	40
2.2 Rango de aplicación de las microturbinas Pelton.....	42
2.3 Dimensionamiento de la turbina Pelton.....	44
2.4 Cucharas.....	49
2.5 Inyector.....	50
Ejercicios capítulo 2.....	52
3. Evaluación de sus necesidades energéticas.....	57
3.1 Dimensionamiento de la tubería forzada.....	60
Ejercicios capítulo 3.....	72
4. Sistema apropiado.....	81
4.1 Sistema de carga de batería.....	82
Ejercicios capítulo 4.....	94
5. Construya su sistema.....	101
Glosario.....	105
Anexos.....	119
Bibliografía.....	127

Prólogo

El material que se expone en este libro ha sido implementado con base en los apuntes usados para la enseñanza de los cursos Máquinas Hidráulicas y Energías Renovables, para estudiantes de Ingeniería Mecánica.

Microhidrogeneración es un libro práctico que cubre los principios de la generación hidráulica de baja potencia, la aplicación y el dimensionamiento de las turbinas Pelton, entre otros aspectos. El texto tiene la particularidad de que presenta ejercicios de retroalimentación al final de cada capítulo, también incluye *websites* y proveedores de elementos de sistemas de microhidrogeneración.

La motivación principal para la realización de este libro fue la construcción de una herramienta de apoyo académico para el desarrollo de la cátedra Máquinas Hidráulicas, impartida a los estudiantes de Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga (Colombia).

The background of the slide features a repeating pattern of stylized wind turbines. Each turbine is composed of a central hub with three blades, all rendered in a light gray color. The turbines are scattered across the page, creating a subtle, textured effect.

1. Introducción

1.1 Conceptos generales

La electricidad generada a partir de la energía del agua —hidroelectricidad— es la mayor fuente de energía renovable en la actualidad. Los sistemas de microhidrogeneración producen electricidad a partir de pequeños alternadores accionados con agua. Aun a pequeña escala, la energía hidráulica es la forma más confiable y económica de generar electricidad con tecnología renovable [1].

¿Qué es la microhidrogeneración? Es una central hidráulica de menor tamaño, donde no se necesita el represamiento de agua (ver la Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Tipos de centrales hidráulicas

Tipo de central hidráulica	Potencia generada	Caudal [m ³ / s]
Microgeneración	100 <i>watts</i> –50 kW	0.001–0.1
Pequeña central hidráulica	50 kW–1 MW	-
Grandes centrales hidráulicas	1 MW–1000 MW o más	2–200

Fuente [1]

1.2 Hidráulica y electricidad

Este libro trata del modo en que se puede obtener electricidad a partir de la energía del agua. Así que es importante reconocer el comportamiento de la electricidad y del agua.

Corriente directa (DC)

Existen diferencias y similitudes entre la corriente alterna (AC) y la corriente directa (ver la Tabla 1.2). La corriente directa fue el primer tipo de electricidad. Aunque la corriente alterna es la forma más

usada de electricidad, todavía encontramos la DC en la vida moderna. Cuando la energía eléctrica debe ser almacenada o se debe usar sin estar conectado a la red eléctrica se utiliza DC.

Las baterías son la fuente más común de DC; una batería es como un tanque de almacenamiento de electricidad. La potencia eléctrica sale de un borne o polo de la batería y fluye hacia el otro polo. Estos polos son llamados *positivo* y *negativo*. Su reloj, su computadora portátil, el motor de arranque de su carro y una gran cantidad de tecnologías de la vida diaria requieren DC.

Muchas aplicaciones de DC son de bajo voltaje, de 12 o 24 voltios por ejemplo. Los voltajes comunes de AC son de 120 o 240 voltios, o incluso más altos. La potencia eléctrica de DC es diferente de la potencia de AC que viene de la red eléctrica; numerosos artefactos que están hechos para AC no pueden ser conectados directamente a las baterías.

Hay considerables artículos adaptados para DC; sin embargo, los mejores y más económicos funcionan a 120 voltios de AC.

Corriente alterna (AC)

AC es el tipo de electricidad que viene de la red eléctrica. *Corriente alterna* quiere decir que cambia de dirección. Una característica importante es la velocidad con que se dan los cambios de dirección y que se mide como *frecuencia*. La potencia en América tiene una frecuencia de 60 ciclos por segundo (60 Hz), en otras partes del mundo la frecuencia de AC puede ser de 50 ciclos por segundo (50 Hz). En las residencias la electricidad es de 120 voltios, y los circuitos de 240 voltios se usan para industrias o casas de grandes cargas.

El proceso de cambio de DC por AC es llamado *inversión*, y el equipo que hace esto se llama *inversor*. El proceso de conversión de AC en DC se denomina *rectificación*. Convertir 120 voltios de AC en 12 voltios de DC es un proceso electrónico relativamente fácil. El transformador convierte 120 AC en 12 AC y el rectificador (puente de diodos) convierte AC en DC. Esta tecnología es ampliamente

conocida y es usada hace muchos años. Sin embargo, cambiar la potencia de la batería por AC es más complicado.

Una de las razones por las que la microhidrogeneración no se ha desarrollado considerablemente es que los inversores fueron perfeccionados solo hasta finales de los años ochenta. Antes estaban disponibles, pero eran costosos y poco confiables [1].

Tabla 1.2. Paralelo entre AC y DC

AC	DC
Forma más común de electricidad	Usada de acuerdo con necesidades particulares
No puede ser almacenada	Puede ser almacenada
Se usa conectado a la red	Puede ser usada sin estar conectado a la red
Tiene gran aplicación a alto voltaje	Tiene gran aplicación a bajo voltaje

Fuente [1]

Mover la potencia

La potencia debe llevarse del punto de generación al punto de uso, y las pérdidas debido a la resistencia son inevitables. Las pérdidas por fricción se pueden disminuir con una tubería de mayor diámetro; las pérdidas eléctricas se reducen usando un conductor de mayor diámetro. En ambos casos se deben balancear las pérdidas y los costos.

Factor de potencia

Las cargas (electrones en los conductores) son portadoras de energía en un circuito eléctrico. Las cargas son parte del material del conductor y la estructura atómica de conductores como el cobre y el aluminio, y no salen del circuito; se mueven de un átomo al siguiente llenando el agujero dejado por otra carga.

En un circuito de corriente directa se mueven en una dirección, en un circuito de corriente alterna se mueven hacia arriba y hacia abajo. El voltaje (presión eléctrica) y el amperaje (flujo de carga) van desde cero a un máximo en una dirección (positivo), vuelven a cero hasta

un máximo en otra dirección (negativo) y luego a cero. A esto lo llamamos un ciclo, y en América la corriente alterna es de 60 ciclos por segundo (*hertz* o Hz en abreviatura). Cuando el voltaje y el amperaje están en el pico y en cero al mismo tiempo, se dice que están en fase; lo anterior es lo que pasa en circuitos que tienen solamente carga resistiva (ver las figuras 1.1 y 1.2).

Muchos circuitos de AC tienen otras propiedades eléctricas, como la inductancia (almacenamiento de energía en un campo electromagnético, oponiéndose al cambio del amperaje) y la capacitancia (almacenamiento de energía en un campo electrostático, oponiéndose al cambio de voltaje). Estos disturbios desfasan el voltaje y el amperaje. En estos circuitos reactivos algo de la energía es rebotado a la fuente en una reacción retardada, debido a las características de inductancia y capacitancia. Las cargas reactivas incluyen motores, lámparas fluorescentes con balastos y numerosos aparatos electrónicos.

La potencia (velocidad de transferencia de energía) puede ser calculada multiplicando el voltaje y el amperaje (presión eléctrica y flujo de carga) en un circuito resistivo puro; si la fuente de voltaje es 120 v y el amperaje es 10 A, la potencia es 1200 *watts*. En un circuito reactivo, debido a que el voltaje y el amperaje no están en fase, hay menos potencia disponible para la carga. Algunas de las cargas solo se mueven hacia arriba y hacia abajo innecesariamente; esto crea la ilusión de la potencia conocida como *potencia reactiva*.

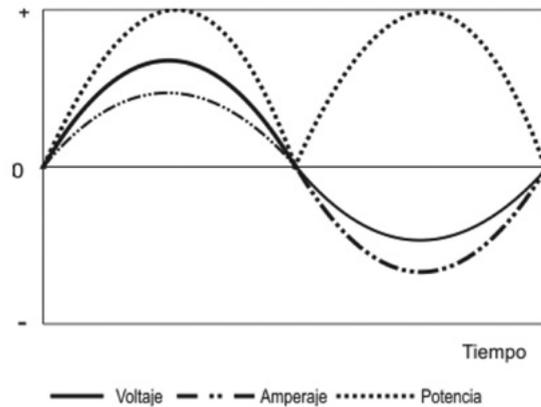
El producto de voltios por amperios en un circuito reactivo se conoce como *potencia aparente* (también llamado volt-amp o VA). La potencia real útil a la carga se conoce como *potencia real* (*watts* o W). La relación de la potencia real y la potencia aparente se llama *factor de potencia* (fp), y fp = 1 es ideal.

$$fp = \frac{W}{VA} = \frac{\text{Potencia real [W]}}{\text{Potencia aparente [VA]}} \quad [1.1]$$

Un circuito con un bajo factor de potencia necesitará conductores de mayor diámetro para mantener las pérdidas de voltaje al mismo nivel que un circuito con alto factor de potencia.

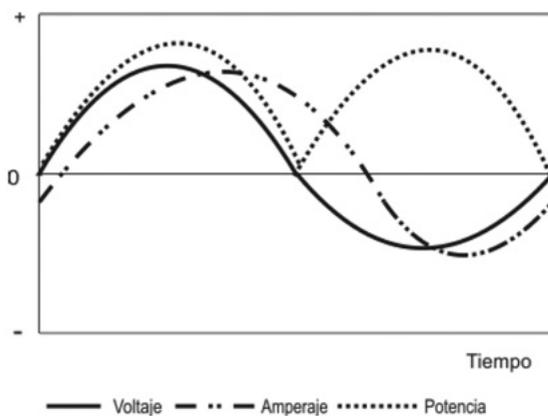
No es una mala idea corregir el factor de potencia, la realidad es que las empresas de energía usualmente no les cobran a los usuarios residenciales en VAh, sino en Wh. La corrección del factor de potencia ayuda a la empresa, pero no al usuario [2].

Figura 1.1 Variables eléctricas para una carga resistiva, $fp = 1.0$; V y A en fase



Fuente [2]

Figura 1.2. Variables eléctricas para una carga reactiva, $fp < 1.0$ V y A; no están en fase



Fuente [2]

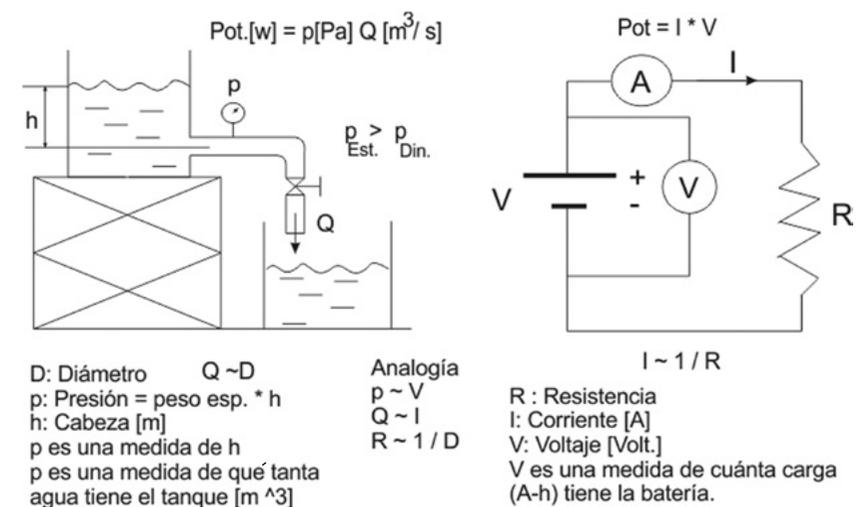
Electricidad y agua

La electricidad es semejante al agua en varios sentidos; por ejemplo, el flujo de agua es similar a la corriente eléctrica: el flujo de agua es medido en galones por minuto (gpm) y la corriente eléctrica es medida en *amperios*; la presión del agua es como el voltaje eléctrico: la presión que se lee en un manómetro es una medida directa de la altura o cabeza de agua que está por encima, la presión se mide en libras por pulgada cuadrada (psi) y es descrita como *pies de cabeza*.

La presión en una tubería es mayor cuando no está fluyendo agua; esta es llamada *presión estática* o *cabeza estática*. Cuando el agua comienza a fluir en una tubería, la presión disminuye debido a las pérdidas por fricción, y es llamada *presión neta* o *cabeza neta*, como se observa en la Figura 1.3.

La resistencia eléctrica, medida en *ohmios*, es similar a la fricción que se presenta en las tuberías, con el flujo de corriente el potencial se pierde debido a la resistencia. Mientras más corriente fluye, más potencial se pierde. Esto es llamado *caída de voltaje*.

Figura 1.3. Agua y electricidad. Fuente: [Autor]



V es la medida de la carga (Ah) que tiene la batería.

Ejemplo: 100 Ah significa que si se consume 1 A, la carga dura 100 h; o si se consume 2 A, la carga dura 50 h.

La corriente, el voltaje y la resistencia están relacionados según la ley de Ohm.

$$V[\text{voltios}] = I[\text{amperios}] * R[\text{ohmios}] \quad [1.2]$$

La potencia hidráulica disponible (potencia disponible para la turbina) se calcula como:

$$P_{\text{disp.}} [\text{W}] = P_n [\text{Pa}] * Q [\text{m}^3 / \text{s}] = \text{peso esp.} [\text{N} / \text{m}^3] * H_n [\text{m}] * Q [\text{m}^3 / \text{s}] \quad [1.3]$$

P_n = Presión neta o presión dinámica.

$$P_{\text{disp.}} [\text{W}] = Q [\text{gpm}] * H_n [\text{pies}] / 5.3 \quad [1.4]$$

Hidroelectricidad

La energía del agua ha sido usada por muchos años en tareas como moler grano y bombear agua. El movimiento lento en las ruedas hidráulicas es ideal para este tipo de trabajo. Pero la rueda hidráulica no es adecuada para generar electricidad. Usualmente, la producción de electricidad requiere maquinaria en rotación a cientos de revoluciones por minuto (rpm), mientras que la rueda hidráulica puede típicamente tener rotaciones de una docena de rpm o menos.

Durante el siglo *xlx*, la tradicional rueda hidráulica se hizo más eficiente. La rueda Poncelet, con sus alabes curvados, se desarrolló en una turbina Francis que es de uso muy común en la actualidad en grandes centrales hidroeléctricas.

1.3 Sistemas microhídros

Los sistemas microhídros emplean el mismo tipo de turbinas que son usadas en sistemas más grandes. Las mejoras en microhídros no tienen que ver con innovaciones del diseño de la turbina, sino con mejoras sobre los componentes del sistema, como en el sistema del controlador de carga electrónico para AC y en los inversores para sistemas de carga de batería.

Antes de 1980 el flujo de agua era controlado para mantener la velocidad constante del alternador activando un inyector de aguja. Esta combinación funcionó bien, pero era costosa y difícil de operar; el arribo de los controladores de carga electrónicos permitió usar la potencia donde se requería. Si una lámpara era apagada, entonces la resistencia o el tanque de agua se calentaba más, toda la potencia producida iba a un lugar útil. El desarrollo de esta tecnología ha contribuido significativamente a fomentar el uso de la tecnología microhídros.

Comparado con la variabilidad del viento y del sol, un flujo de agua es relativamente consistente, lo que hace del sistema microhídros eléctrico el más predecible de todos los sistemas de energía renovable.

El primer paso para diseñar un sistema microhídros es evaluar su fuente de agua, midiendo la cabeza (caída vertical) y el flujo. Estas dos mediciones son necesarias para calcular la energía potencial de la fuente. El siguiente paso es diseñar un sistema que efectivamente aproveche ese potencial.

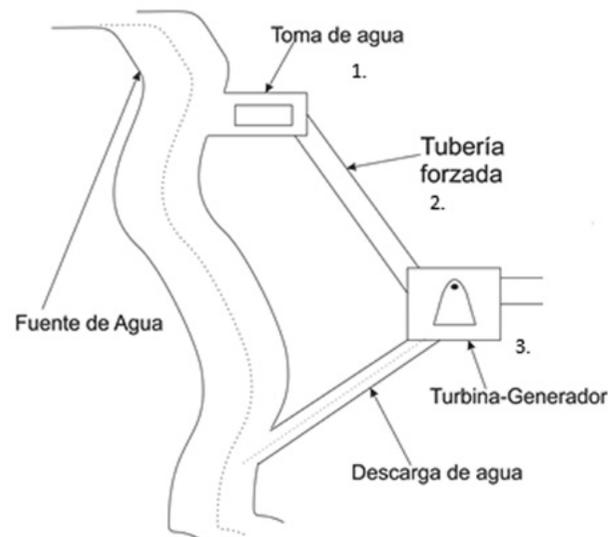
Un sistema microhídros eléctrico es hecho de un número de componentes adicionales a la turbina. Los sitios y los usuarios finales varían, y existe un amplio rango de equipos disponibles para adaptarse a las condiciones y trabajar juntos para convertir en electricidad la energía del agua (ver las figuras 1.4 y 1.5).

A. Sistema independiente (*off-grid*) con batería

1. Toma

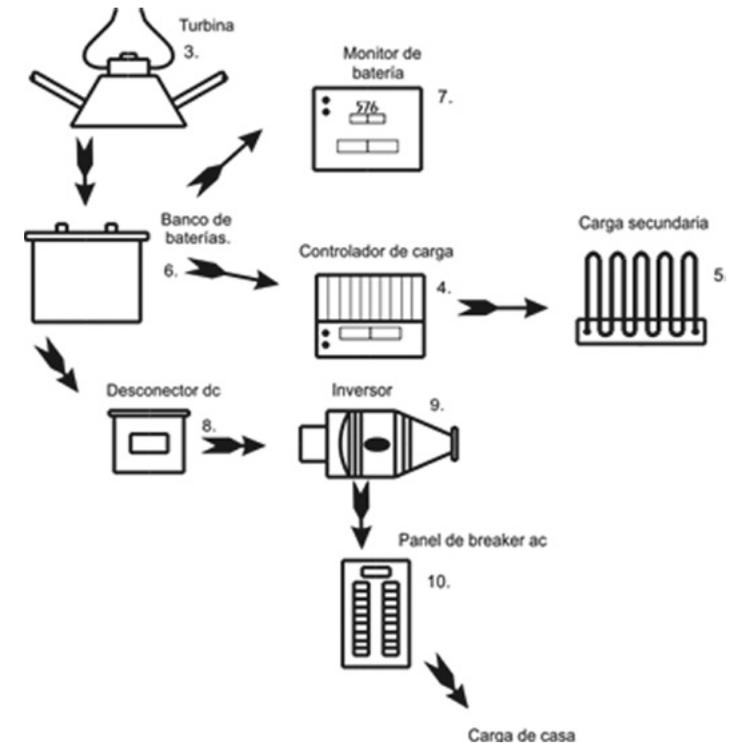
La toma puede ser tan simple como una caja con rejilla sumergida en el curso del agua o puede ser un complejo represamiento del flujo. El objetivo es desviar agua limpia y sin aire hacia la tubería forzada. Efectivamente, obtener el agua en la tubería es un paso crítico al que con frecuencia no se le pone la suficiente atención. Malos diseños de toma de agua se convierten a menudo en el foco del mantenimiento y los esfuerzos de reparación de los sistemas hidroeléctricos. Una forma de remover escombros es dirigir el agua sobre una rejilla inclinada; el agua de turbina cae y los escombros pasan con el flujo de agua (toma de efecto Coanda).

Figura 1.4. Sistema microhídrico.



Fuente: [Autor]

Figura 1.5. Sistema independiente (*off-grid*) con batería



Fuente [3]

2. Tubería forzada

La mayoría de las turbinas hidráulicas requiere de por lo menos un tramo corto de tubería para llevar el agua a la máquina; algunas turbinas requieren tubería para la descarga, y la longitud puede variar dependiendo de la distancia entre la fuente y la turbina. El diámetro de la tubería puede estar en el rango de 1 pulgada a 1 pie o más, y debe ser lo suficientemente grande para manejar el flujo. Es necesario minimizar las pérdidas debido a la fricción para maximizar la energía disponible para convertir en electricidad. La tubería plástica de polietileno o PVC es comúnmente usada para sistemas a escala de residencias. Se aconseja enterrar la tubería para prevenir el con-

gelamiento en climas extremadamente fríos, protegerla de daños y de la degradación de la luz ultravioleta [1].

3. Turbina

La turbina convierte la energía del agua en electricidad. Existen muchos tipos de turbina, pero es importante adaptar la máquina a las condiciones del sitio respecto a la cabeza y el flujo. En una turbina de impulso el agua pasa por un inyector que la dirige a un impulsor o rueda (Pelton y Turgo son los dos tipos más comunes). Las turbinas de reacción son máquinas *propeller* o de hélice, Francis y bombas centrífugas usadas como turbina, cuyo impulsor es sumergido en una carcasa cerrada. Cualquiera que sea el tipo de turbina, la energía de la caída de agua es convertida en movimiento rotacional en el eje del impulsor; este eje es acoplado directamente a un alternador de magneto permanente o un generador de AC de inducción síncrono.

4. Controladores de carga

La función de un controlador de carga en un sistema hidro es equivalente a accionar una carga para absorber el exceso de energía. Los sistemas microhídrico con batería requieren controladores de carga para prevenir la sobrecarga de las baterías. Los controladores generalmente envían el exceso de energía a una carga secundaria, como un calentador de agua o de aire. A diferencia de un controlador solar-eléctrico, un controlador microhídrico no desconecta la turbina de las baterías. Esto podría crear voltajes más altos de lo que algunos componentes pueden soportar o causar una sobrevelocidad en la turbina, lo cual podría resultar en sobrevoltajes peligrosos.

Es indispensable también controlar los sistemas independientes microhídrico sin baterías. Un gobernador del control de carga monitorea el voltaje o frecuencia del sistema y mantiene el generador correctamente cargado, enciende y apaga la carga secundaria o mecánicamente desvía el agua fuera del impulsor.

Los sistemas de DC y AC sin baterías unidos a la red necesitan control para proteger el sistema en caso de que la red falle.

5. Carga secundaria

Una carga secundaria es un calentador de resistencia eléctrica que debe ser dimensionado para manejar la capacidad de generación completa de la turbina microhídrico. Las cargas secundarias pueden ser calentadores de aire o agua y son activadas por el controlador de carga, en el momento en que las baterías o la red no puedan aceptar la energía que se produce, para prevenir daños en el sistema. El exceso de energía es desviado (*shunted*) a la carga secundaria cuando resulta necesario.

6. Batería

Usando reacciones químicas reversibles, un banco de baterías constituye una forma de almacenar superávit de energía cuando se está produciendo más de lo que se consume. Cuando la demanda es mayor que lo generado, las baterías liberan energía para mantener la carga de la casa en operación.

El sistema microhídrico es típicamente el más gentil de los sistemas renovables con las baterías, puesto que no las mantienen en estado descargado. El banco de baterías puede ser más pequeño que el de un sistema eólico o fotovoltaico. Las baterías de ácido y de ciclo profundo son típicamente usadas en estos sistemas.

7. Monitor de baterías

Este sistema mide y muestra diferentes aspectos de desempeño del sistema microhídrico eléctrico y monitorea el estado de carga del banco, cuánta electricidad está produciendo o ha producido la turbina y cuánta electricidad está siendo usada. Operar el sistema sin este medidor es como manejar un carro sin instrumentación; aunque es posible hacerlo, siempre es mejor saber cómo se está desempeñando el carro y cuánto combustible hay en el tanque.

8. Desconector de DC

En un sistema con batería se requiere un desconector entre la batería y el inversor. Este desconector son típicamente *breakers* montados en una caja metálica, que protegen el inversor y la batería de las fallas eléctricas.

9. Inversor

El inversor transforma la electricidad de DC almacenada en el banco de baterías en electricidad de AC para alimentar eléctricamente los artículos de una casa. Los inversores unidos a la red (*grid-tie*) sincronizan la salida del sistema con la electricidad de AC de la red, permitiendo que el sistema hidro se conecte con la red. Los inversores de sistemas con batería para sistemas independientes (*off-grid*) o conectados a la red (*grid-tie*) frecuentemente incluyen un cargador de batería, el cual es capaz de cargar un banco de baterías desde la red o un generador de apoyo si la fuente de agua no está fluyendo o el sistema está en mantenimiento.

10. Panel de breaker de AC

El panel de *breaker* de AC o panel principal es el punto en el cual todo el cableado eléctrico de la casa se reúne con el proveedor de electricidad, ya sea la red o el sistema microhidro-eléctrico. Este panel empotrado o caja es usualmente instalado en el garaje o en el exterior del edificio, y contiene un número de *breakers* de circuitos etiquetados que dirigen la electricidad a varios sitios de la casa. Estos *breakers* permiten que la electricidad sea desconectada para el servicio, y también protegen el cableado contra incendios de origen eléctrico.

Al igual que los circuitos eléctricos de la casa u oficina, la salida de un inversor *grid-tie* debe ser dirigida a través de los *breakers* de un circuito de AC.

11. Contador de kWh

Muchas casas con sistemas microhidro *grid-tie* tienen un medidor de kWh multicanal que mantiene la trazabilidad de cuánta electricidad se está usando y cuánta está produciendo el sistema de energía renovable. Las empresas de distribución eléctrica generalmente proporcionan este medidor sin costo.

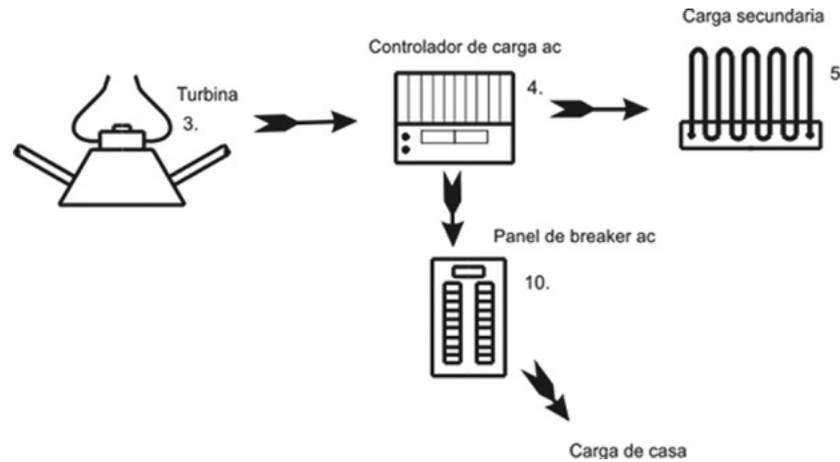
B. Sistema independiente de AC (off-grid) sin batería (ver las figuras 1.6 y 1.15)

Si el flujo hidráulico tiene suficiente potencial, se puede implementar un sistema de AC, que consta de un turbogenerador que produce AC a 120 o 240 voltios, la cual puede ser enviada directamente a la carga de la casa. El sistema es controlado desviando el exceso de energía a una carga secundaria, tal como un calentador de aire o agua. Esta técnica mantiene la carga total constante en el generador. Una limitación de este sistema es que el pico de carga no puede exceder la salida del generador, que es determinada por la cabeza y el flujo disponible en la fuente. Este tipo de sistema tiene que ser grande para cumplir con las cargas eléctricas pico, de tal forma que genere suficiente energía para todas las necesidades de la casa, incluyendo el calentamiento del espacio y del agua.

C. Sistema grid-tie sin batería (ver las figuras 1.7, 1.9, 1.10 y 1.14)

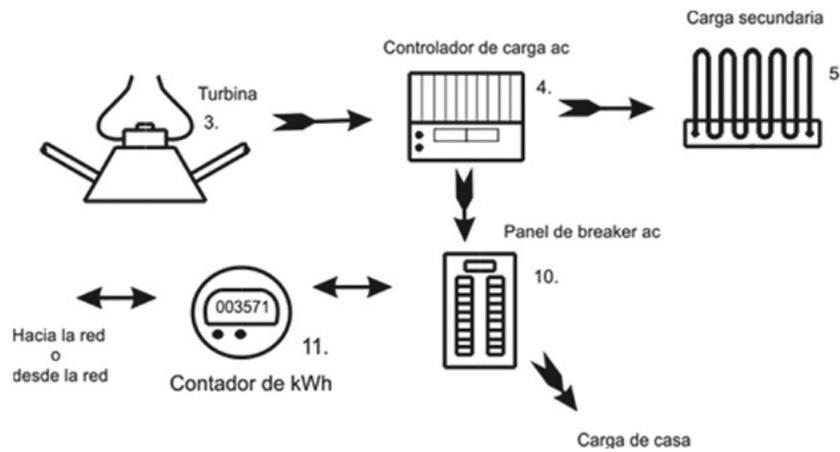
Este sistema incluye una turbina y un control para producir la electricidad que alimenta directamente la línea de red. Puede usar generadores de DC o AC; los sistemas de AC usan generadores de AC para conectarse directamente con la red. El mayor inconveniente de los sistemas sin batería es que cuando la red deja de funcionar, el sistema no envía energía a la carga de la casa.

Figura 1.6. Sistema independiente de AC (*off-grid*) sin batería



Fuente [3]

Figura 1.7. Sistema *grid-tie* sin batería

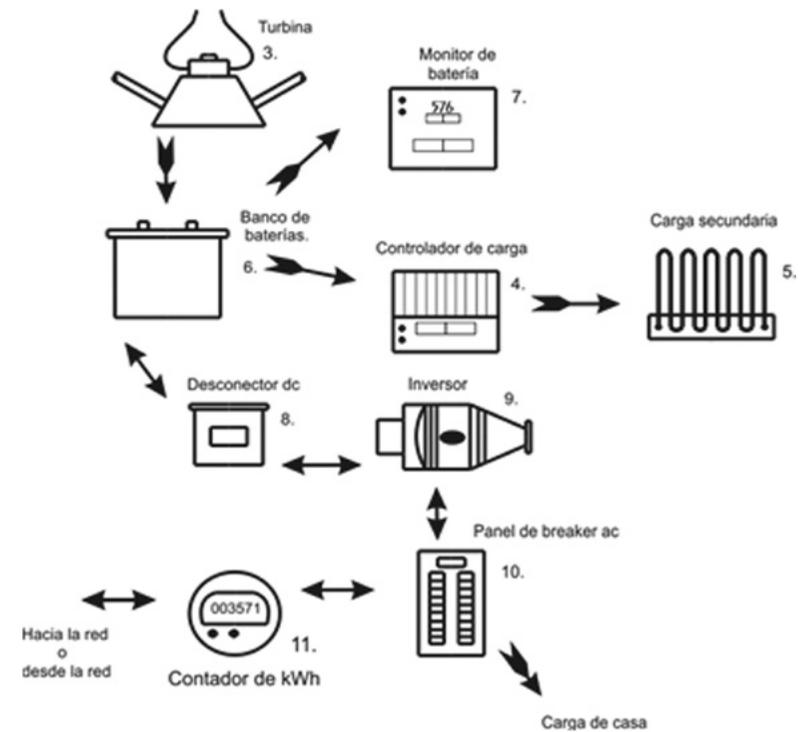


Fuente [3]

D. Sistema *grid-tie* con batería (ver las figuras 1.8 y 1.9)

El sistema *grid-tie* con batería permite operar cuando la red no está en funcionamiento. Este tipo de sistema es el mismo que el *off-grid*, excepto porque el inversor debe ser diseñado para la operación *grid-tie*, con el propósito de alimentar con el exceso de electricidad las líneas de la red. La carga secundaria es solamente activada en caso de que la red falle, para proteger las baterías de una sobrecarga.

Figura 1.8. Sistema *grid-tie* con batería



Fuente [3]

El sistema hidroeléctrico tiene gran potencial, pero a veces la tecnología puede resultar difícil debido a las siguientes situaciones:

- * El desvío del agua de una fuente puede requerir permiso de las autoridades locales.
- * Se deben tener en cuenta las inundaciones.
- * Toda hidroturbina tiene partes en movimiento que requieren mantenimiento y remplazo periódico. El mantenimiento más común se hace en la toma de agua, que debe estar libre de suciedad y desechos.

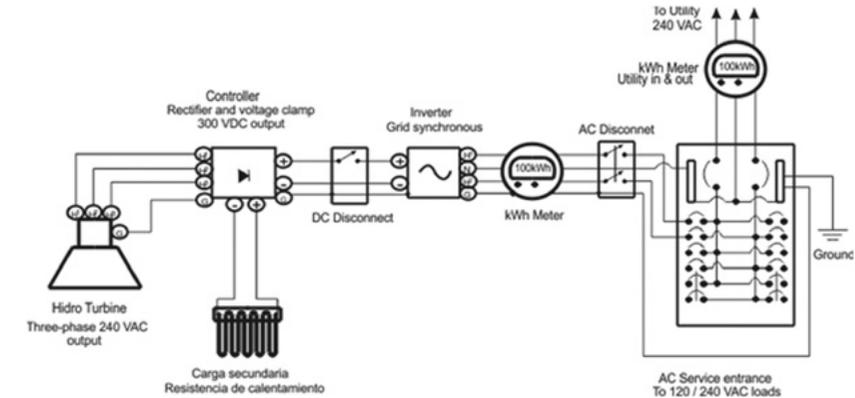
A pesar de los desafíos, la mayor parte de los problemas se puede resolver si el sistema es instalado correctamente y mantenido apropiadamente; de este modo puede proporcionar muchos años de servicio. El sistema microhídrico es predecible y de gran potencial, a diferencia del sistema solar o eólico.

¿Qué es un shunt?

Un *shunt* es un aparato eléctrico que tiene una resistencia medida en forma precisa. Su cableado normalmente se hace con el negativo, en los sistemas de energía renovable, entre la batería y la carga. Las grandes zapatas del *shunt* proporcionan un medio para cablear en serie con el circuito a ser medido. Los tornillos pequeños (terminales Kelvin) reciben los cables del sensor que van al medidor.

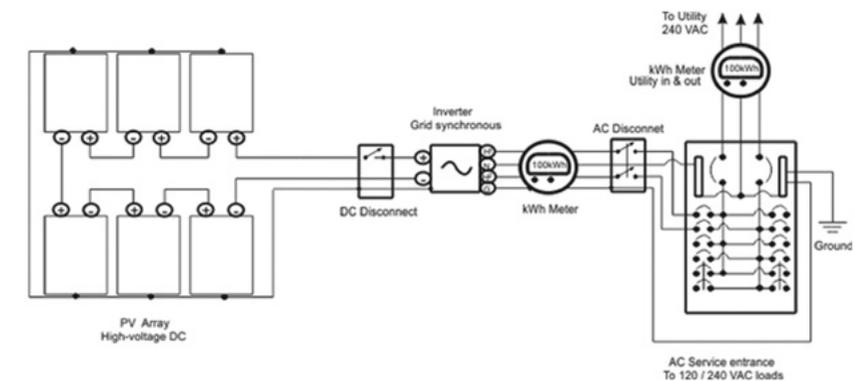
Medir la caída de voltaje a través del *shunt*, resistencia calibrada precisa, permite al medidor calcular el amperaje con la ley de ohm $I = V / R$. Así que el medidor puede llegar a ser contador, usando una programación interna para calcular las cargas (amp.hora) y por consiguiente la energía (*watt-hora*) que se está moviendo en el sistema.

Figura 1.9. Sistema microhídrico de baja potencia *grid-tie*



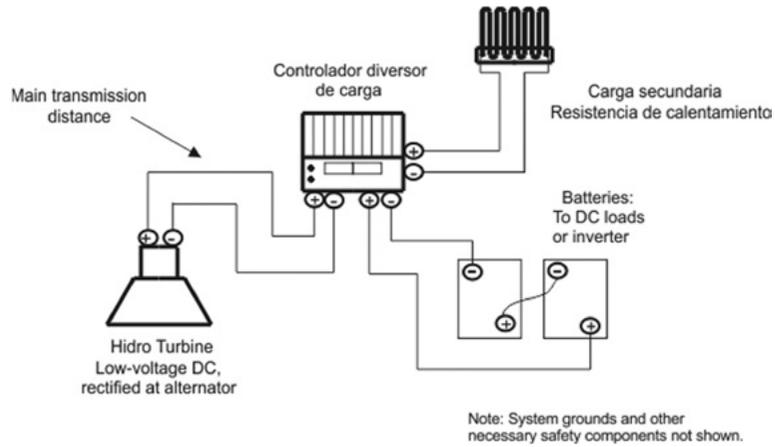
Fuente [4]

Figura 1.10. Típico sistema PV (fotovoltaico) *grid-tie*



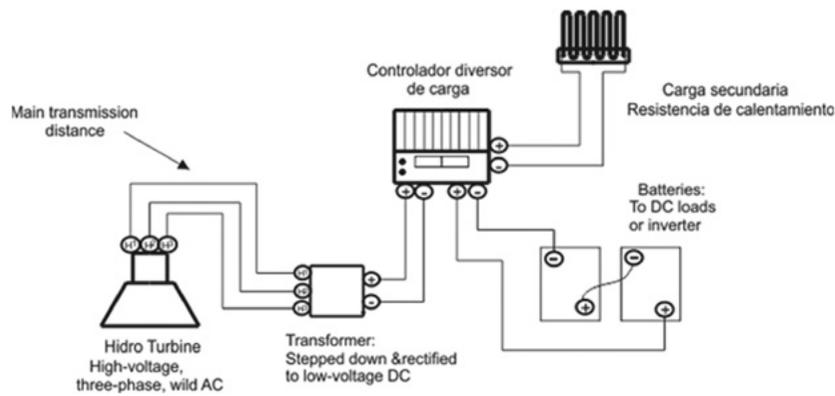
Fuente [4]

Figura 1.11. Sistema microhídrico de transmisión de DC a bajo voltaje (distancia corta de transmisión)



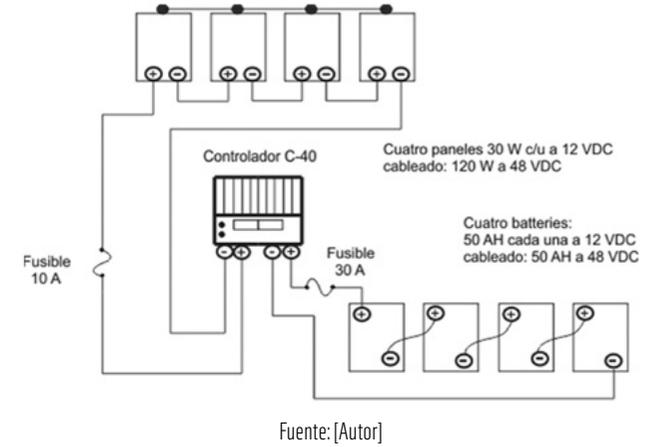
Fuente [4]

Figura 1.12. Sistema microhídrico de transmisión de AC a alto voltaje (a mayor voltaje de transmisión, menor tamaño del conductor)



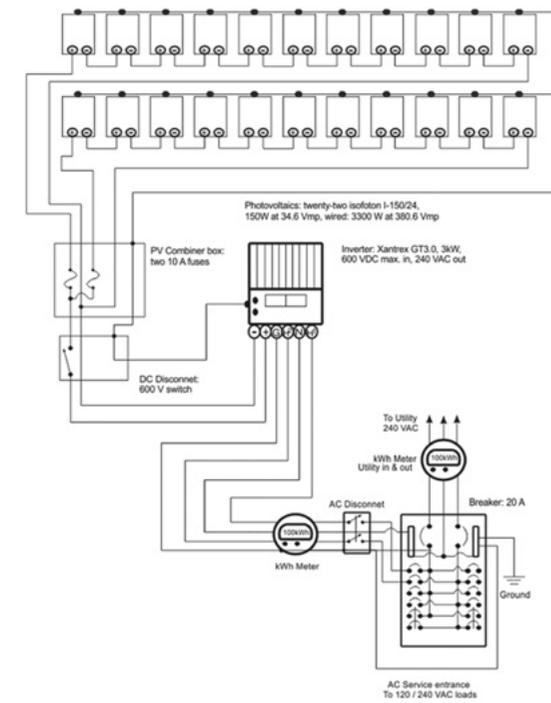
Fuente [4]

Figura 1.13. Sistema *off-grid* fotovoltaico (PV)

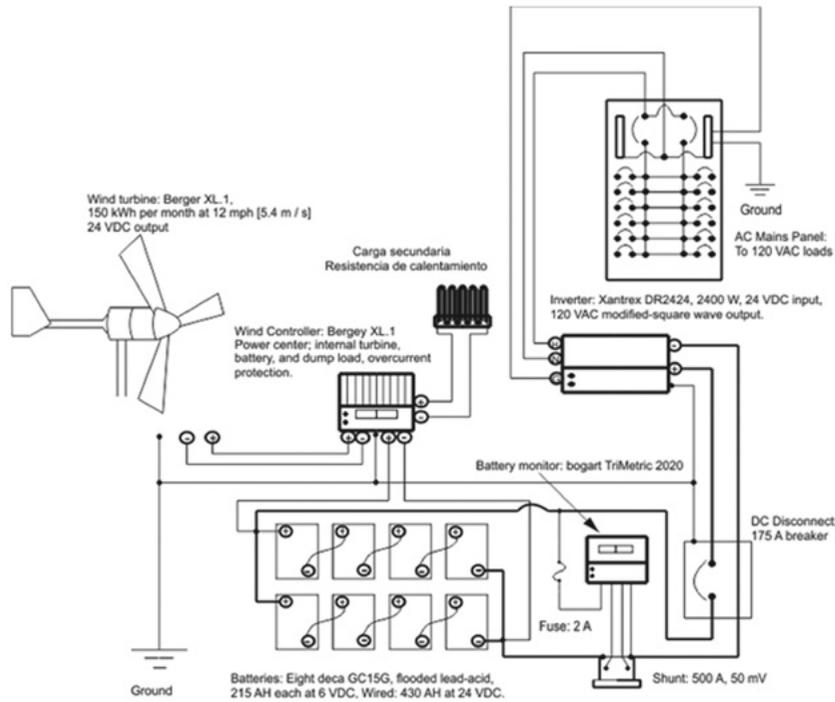


Fuente: [Autor]

Figura 1.14. Sistema *grid-tie* fotovoltaico



Fuente [5]

Figura 1.15. Sistema *off-grid* eólico

Fuente [6]

Ejercicios capítulo 1

1.1 La potencia generada en un sistema de microgeneración hidráulica es aproximadamente:

- 100 W – 50 kW
- 50 kW – 1 MW
- 1 MW – 1000 MW
- Más de 1000 MW

R / a.

1.2 La fuente más común de corriente directa es:

- Un alternador de carro
- Un inversor
- Una batería
- Una megacentral hidráulica

R / c.

1.3 Las aplicaciones más comunes de corriente directa se hacen a un voltaje de:

- 120 v
- 240 v
- 360 v
- 12 v o 24 v

R / d.

1.4 Si un motor eléctrico está diseñado para funcionar con 120 de AC, también funciona con 120 de DC.

- Falso
- Verdadero

R / a.

1.5 El proceso de cambiar DC por AC se llama:

- a. Inversión
- b. Rectificación
- c. Solidificación
- d. Alternación

R / a.

1.6 La corriente eléctrica se mide en:

- a. Amperios
- b. Voltios
- c. Ohmios
- d. Gpm

R / a.

1.7 Una presión de 200 psi en m.c.a. equivale a:

- a. 90.7
- b. 140.7
- c. 200.7
- d. 340.7

R / b.

1.8 La presión que mide un manómetro en una tubería cuando el líquido está fluyendo se llama:

- a. Estática
- b. Absoluta
- c. Atmosférica
- d. Neta

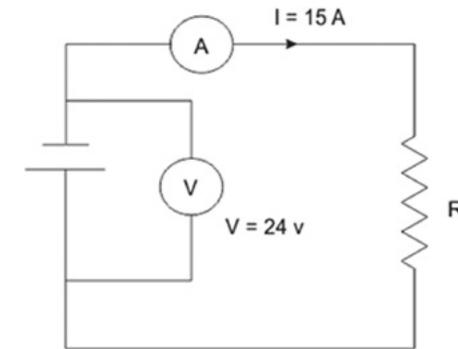
R / d.

1.9 En el circuito eléctrico de la figura 1.16, la potencia consumida en vatios por la resistencia es:

- a. 360
- b. 24
- c. 15
- d. 1.6

R / a.

Figura 1.16. Circuito eléctrico



Fuente: [Autor]

1.10 En una tubería en la cual circula un flujo de agua, el manómetro mide 200 kPa. La cabeza neta, en metros, es:

- a. 6.4
- b. 12.4
- c. 20.4
- d. 50.4

R / c.

1.11 Un sistema de microgeneración hidráulica tiene un caudal de 50 gpm y una cabeza neta de 30 pies. La potencia disponible en *watts* aproximadamente es:

- a. 50
- b. 283
- c. 350
- d. 850

R / b.

1.12 Un sistema de microgeneración hidráulica tiene un caudal de $0.02 \text{ m}^3 / \text{s}$ y una presión neta de 500 kPa. La potencia disponible en *watts* aproximadamente es:

- a. 1000
- b. 10000
- c. 20000
- d. 50000

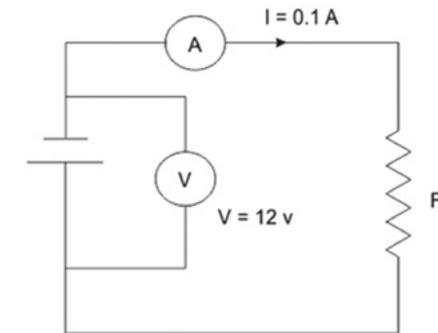
R / b.

1.13 En el siguiente circuito eléctrico (figura 1.17), el valor en ohmios de la resistencia es:

- a. 12
- b. 24
- c. 120
- d. 220

R / c.

Figura 1.17. Circuito eléctrico



Fuente [Autor]

1.14 La rueda hidráulica es adecuada para generar electricidad.

- a. Falso
- b. Verdadero

R / a.

1.15 Los sistemas de microhidrogeneración usan el mismo tipo de turbinas que se usan en sistemas de generación hidráulica más grandes.

- a. Falso
- b. Verdadero

R / b.

1.16 El desarrollo de los controladores de carga electrónicos ha contribuido significativamente a fomentar el uso de la tecnología microhidroeléctrica.

- a. Falso
- b. Verdadero

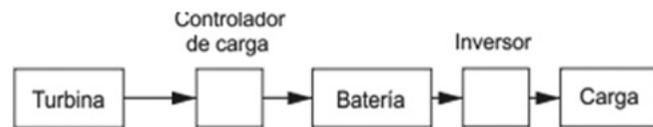
R / b.

1.17 La figura 1.18 corresponde a un sistema:

- a. Independiente con batería
- b. Independiente sin batería
- c. Conectado a red sin batería
- d. Conectado a red con batería

R / a.

Figura 1.18



Fuente: [Autor].

1.18 La figura 1.19 corresponde a un sistema:

- a. Independiente con batería
- b. Independiente sin batería
- c. Conectado a red sin batería
- d. Conectado a red con batería

R / d.

Figura 1.19.



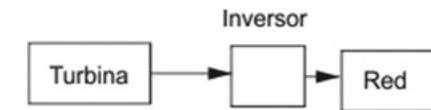
Fuente: [Autor].

1.19 La figura 1.20 corresponde a un sistema:

- a. Independiente con batería
- b. Independiente sin batería
- c. Conectado a red sin batería
- d. Conectado a red con batería

R / c.

Figura 1.20

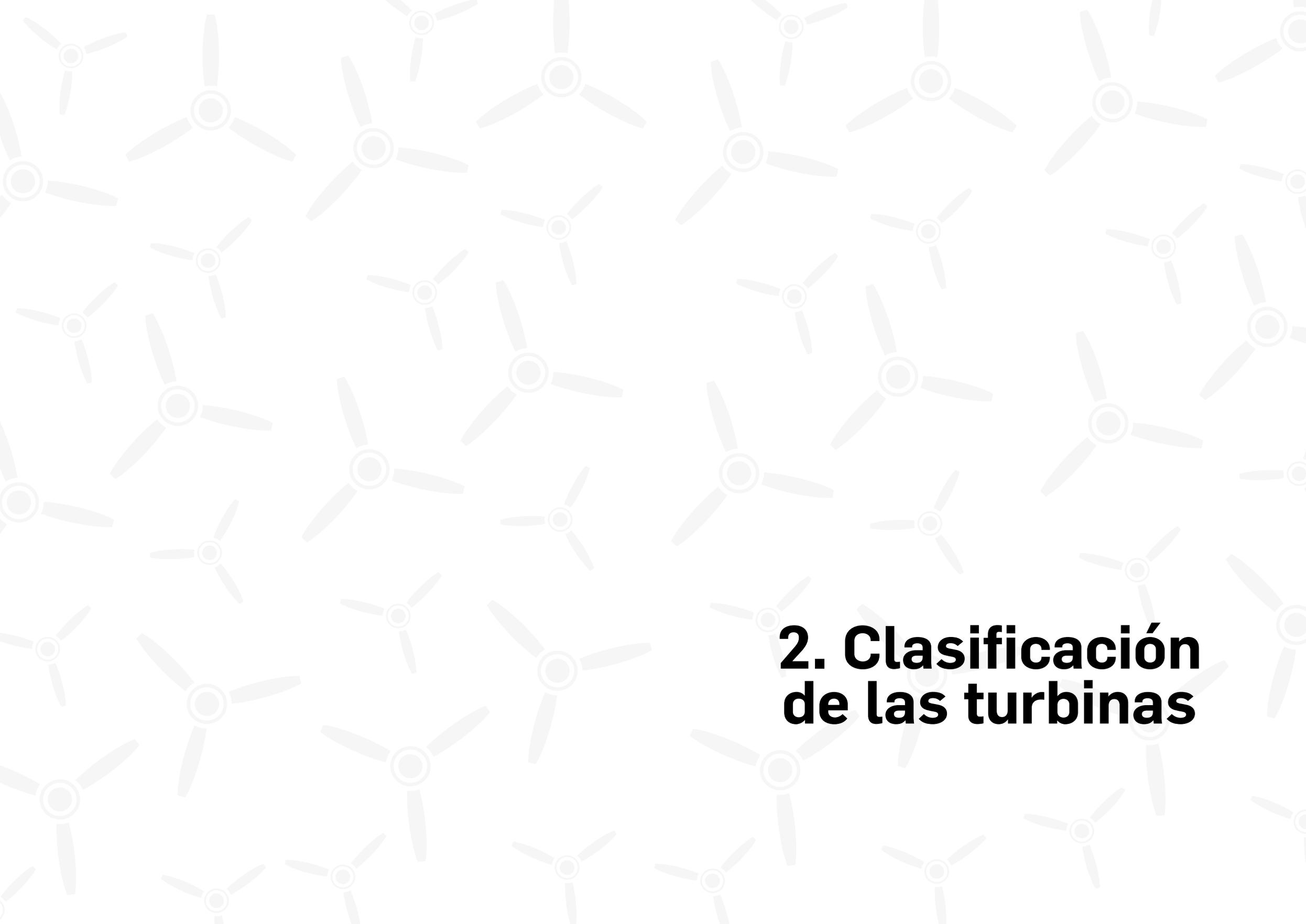


Fuente: [Autor].

1.20 Un circuito tiene una fuente de voltaje de 120 v y amperaje de 10 A. Si la carga del circuito tiene un factor de potencia de 0.8, la potencia verdadera en *watts* es:

- a. 120
- b. 960
- c. 1260
- d. 12

R / b.

The background of the slide is a repeating pattern of stylized wind turbine icons. Each icon consists of a central circle with three blades extending outwards, all rendered in a light gray color. The icons are scattered across the entire page, creating a subtle, thematic texture.

2. Clasificación de las turbinas

Las turbinas hidráulicas se pueden clasificar de acuerdo con:

a. El método de funcionamiento

- Turbina de impulso: Pelton, Turgo y flujo cruzado
- Turbina de reacción: Francis, Kaplan y hélice

b. La dirección del eje

- Horizontal
- Vertical

c. La regulación

- Simplemente regulada
- Doblemente regulada

d. La velocidad específica

- Lenta
- Rápida

Las turbinas hidráulicas pueden ser clasificadas de diferentes formas. Una forma de clasificación es de acuerdo con el método de funcionamiento (turbina de impulso o reacción); otra forma es de acuerdo al diseño (dirección del eje y alimentación de agua). Pueden ser simplemente reguladas o doblemente reguladas, también pueden ser clasificadas según la velocidad específica. En la figura 2.1 se determina la turbina correcta según las condiciones de caudal y cabeza neta.

2.1 Turbina Pelton

Las turbinas Pelton, Turgo y de flujo cruzado pertenecen al tipo de turbinas de impulso. La característica común es que el flujo interactúa con el rotor a presión atmosférica y con admisión parcial.

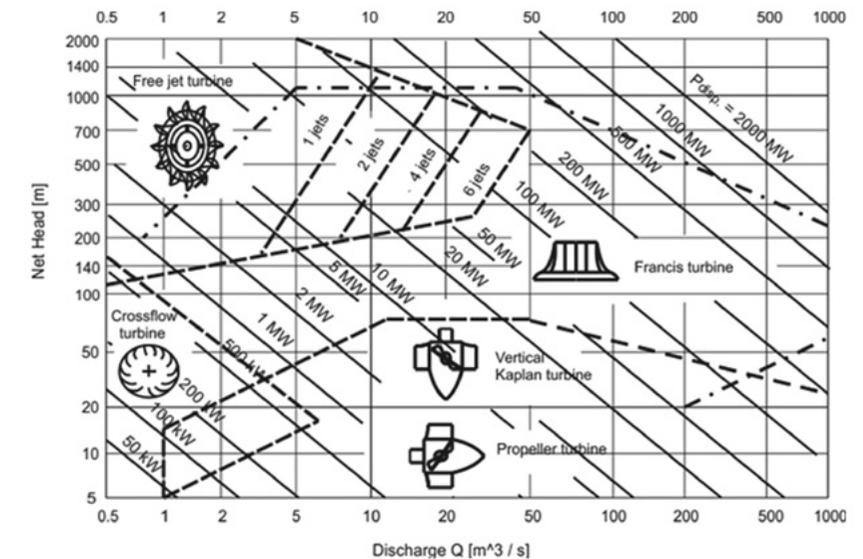
En la turbina Pelton, el torque es generado por la deflexión del chorro en la doble cuchara del rotor; debido a eso la turbina Pelton también es llamada turbina de chorro libre.

La turbina de chorro libre fue inventada en 1880 por el americano Pelton, a quien se debe su nombre. La mejora más importante que hizo Pelton fue la introducción de la cuchara doble simétrica, una forma que aún es válida. La arista de división separa el chorro en dos partes iguales, las cuales son desviadas. Desde entonces la turbina ha sido considerablemente mejorada y la potencia de salida se ha incrementado [7].

La turbina de chorro libre es usada para cabezas entre 250 y 2000 m, pero la Francis es la de uso más común. Hoy la máxima potencia de salida está alrededor de 300 MW.

Dependiendo de la descarga, la cabeza y la calidad del agua, las turbinas Pelton son instaladas con eje horizontal, con 1 o 2 chorros por rotor, como turbina simple o doble, o con eje vertical de hasta 6 chorros. De manera habitual el generador eléctrico es acoplado directamente con el eje. La velocidad de las turbinas pequeñas puede ser ajustada con correas o cajas de engranajes.

Figura 2.1. Rango funcional de diferentes turbinas hidráulicas



Fuente [7]

Básicamente, la turbina está compuesta por las siguientes partes: inyector, rotor y carcasa. El rotor (figura 2.3) es una pieza de acero inoxidable, que contiene 13 % de cromo. La rueda Pelton más grande tiene un diámetro mayor a 5 m y pesa más de 40000 kg.

En el inyector la presión del agua es convertida en velocidad. Las cucharas están diseñadas de forma que la arista en la mitad divide el chorro en dos partes iguales, las cuales son desviadas casi 180°.

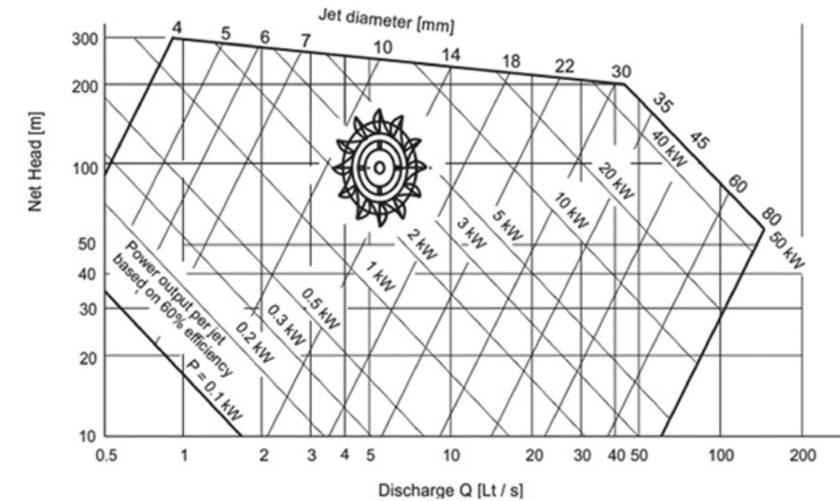
Debido a la desviación del agua casi toda la energía cinética es transferida en fuerza de impulso en el eje de la rueda. Gracias a la simetría del flujo casi no se crea una fuerza axial en el rotor.

La rueda debe ser colocada sobre el nivel del agua, lo cual implica una pérdida de la cabeza estática, pero evita el salpique en el rotor. Con el fin de evitar un inaceptable incremento de la presión en la tubería forzada, debido a la regulación de la turbina, se instalan algunas veces deflectores de chorro. El deflector desvía el chorro o parte de él.

2.2 Rango de aplicación de las microturbinas Pelton (ver la Figura 2.2)

Existen varios límites en el rango de aplicación para las turbinas Pelton. Trabajar con cabezas muy altas puede provocar problemas con la tubería forzada. No solamente es relevante la presión estática, también lo son las ondas de presión que ocurren con la tubería llena (golpe de ariete) cuando la turbina es iniciada o regulada. Esto puede tener consecuencias desastrosas.

Figura 2.2. Rango de aplicación de la microturbina Pelton



Fuente [7]

Las cabezas altas también pueden implicar una alta velocidad rotacional que puede causar problemas con el rotor debido a las fuerzas centrífugas en conexión con las fuerzas dinámicas. Las ruedas más grandes son generalmente construidas para caudales más altos, lo cual implica inyectores y cucharas más grandes.

- **Cabeza máxima**
200 – 300 m, está limitada por las fuerzas dinámicas e hidráulicas en las cucharas y el torque en el eje.
- **Cabeza mínima**
10 m, está limitada por el bajo caudal, la baja potencia de salida, grandes dimensiones de la rueda y baja rpm.
- **Caudal mínimo**
0.5 lps, está limitado por el pequeño tamaño de las cucharas.
- **Mínima potencia de salida**
0.1 kW, limitada aplicación de la potencia.

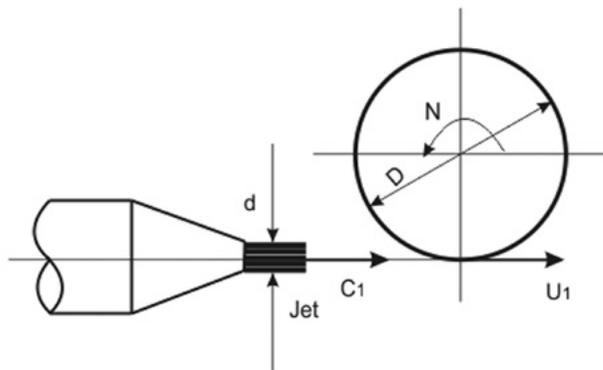
- **Máxima potencia de salida**
50 kW, limitada por el tamaño de la turbina y los límites del diseño.
- **Mínimo diámetro del chorro**
4 mm, limitado por el pequeño tamaño de las cucharas.
- **Máximo diámetro del chorro**
80 mm, limitada por el gran tamaño de las cucharas.

2.3 Dimensionamiento de la turbina Pelton (ver las figuras 2.3 y 2.4)

$$C_1 = k_c \sqrt{2gH_n} \quad [2.1]$$

C_1 : Velocidad absoluta del chorro de agua [m / s]
 k_c : Coeficiente del inyector [$k_c \approx 0.98$]
 H_n : Cabeza neta [m]

Figura 2.3. Fundamentos de la turbina de chorro libre



Fuente [7]

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi C_1}} \quad [2.2]$$

d : Diámetro del chorro óptimo [m]
 Q : Caudal [m^3 / s]

$$U_1 = \frac{C_1}{2} \quad [2.3]$$

U_1 : Velocidad tangencial óptima [m / s]

$$b = 3d \quad [2.4]$$

b : Ancho de la cuchara [m]

$$h = 2.5d \quad [2.5]$$

h : Altura de la cuchara [m]

$$h_1 = 0.2d \quad [2.6]$$

$$h_2 = 1.2d \quad [2.7]$$

$$D = \frac{60U_1 i}{\pi N_g} \quad [2.8]$$

D : Diámetro *pitch* del círculo [m]
 N_g : Rpm del generador
 i : Rpm del generador / Rpm de la turbina

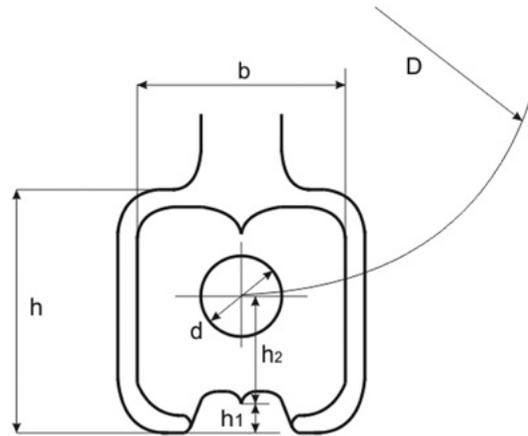
$$Z = \frac{D\pi}{2d} \quad [2.9]$$

Z : Número aproximado de cucharas

$$P = QH_n \gamma \eta \quad [2.10]$$

P : Potencia de salida [W]
 η : Eficiencia de la turbina y generador $\approx 60\%$
 γ : Peso específico [N / m^3]

Figura 2.4. Sección transversal de una cuchara Pelton.



Fuente: [Autor]

Las principales dimensiones de una turbina Pelton están determinadas por el diámetro del chorro. Una vez que esté dado el diámetro del chorro o del inyector, la mayoría de las otras dimensiones del rotor se pueden derivar con ayuda de fórmulas.

El tamaño del diámetro del chorro determina el mínimo tamaño de las cucharas, el cual da el tamaño del rotor y la turbina completa.

En ciertos casos es posible instalar turbinas con cucharas más grandes que las requeridas. Esto no necesariamente reduce la eficiencia global de la instalación de manera significativa, si el sobre-dimensionamiento se mantiene entre ciertos límites. Este puede ser el caso si una turbina de segunda mano es usada y esta es de mayores dimensiones.

Para determinar el tamaño de una turbina se deben conocer dos de los tres parámetros: potencia (P), caudal (Q) y cabeza neta (Hn). Cuando todos los parámetros están dentro de los límites descritos (sección 2.3), la instalación de la turbina Pelton es confiable. Cuando uno de los tres parámetros está sobre estos límites es posible instalar la turbina Pelton, pero es recomendable estudiar diferentes

posibilidades cuidadosamente, porque puede ser necesario contar con una turbina con más de un inyector.

La parte más crítica en la fabricación de una turbina Pelton son las cucharas, porque rotan a alta velocidad y si se rompen, puede ser peligroso.

En caso de que la descarga sea superior o la cabeza esté por debajo de los límites descritos es recomendable estudiar la posibilidad de usar un tipo diferente de turbina alternativa.

El diámetro del chorro puede ser determinado por aproximación, de acuerdo con la figura 2.2, cuando dos de los parámetros cabeza, caudal o potencia son conocidos. La Figura 2.2 está basada en una eficiencia global del 60 %.

Ejemplo 2.1

En un estudio de un sistema de microgeneración hidráulica se estima una cabeza geométrica de 96 m y una cabeza neta de 72 m; el caudal es de 20 lps, $N_g = 1800$ rpm, $i = 1.5$. Calcular las principales dimensiones de la turbina.

Solución:

$$C_1 = k_c \sqrt{2gH_n} = 0.98 [2 * 9.8 * 72]^{0.5} = 36.8 \text{ m/s}$$

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi C_1}} = [4 * 0.02 / \pi * 36.8]^{0.5} = 0.026 \text{ m}$$

$$U_1 = \frac{C_1}{2} = 18.4 \text{ m/s}$$

$$b = 3d = 0.078 \text{ m}$$

$$h = 2.5d = 0.065 \text{ m}$$

$$h_1 = 0.2d = 0.0052 \text{ m}$$

$$h_2 = 1.2d = 0.031 \text{ m}$$

$$D = \frac{60U_1 i}{\pi N_g} = 60 * 18.4 * 1.5 / (\pi * 1800) = 0.2928 \text{ m}$$

$$Z = \frac{D\pi}{2d} = 0.2928 * \pi / (2 * 0.026) \approx 18 \text{ cucharas}$$

$$P = QH_n \gamma \eta = 0.02 * 72 * 9800 * 0.60 = 8467.2W \text{ (potencia de salida)}$$

Ejemplo 2.2

En un sistema de microgeneración hidráulica, con cabeza neta de 86 m, se va a instalar un generador de 10 kW de potencia de salida a una velocidad de 1500 rpm y diseñado para tolerar una velocidad máxima de 2700 rpm. Se planea instalar un controlador de carga electrónico y se asume una eficiencia global del 60 %. El fabricante de la maquinaria tiene cucharas disponibles con un ancho de 60 mm.

Solución:

Con la ayuda de la figura 2.2, el caudal necesario es determinado como 20 lps y el diámetro del inyector es 25 mm.

$$Q = P_{\text{salida}} * 1000 / (H_n * \gamma * \eta) = 10 * 1000 / (86 * 9810 * 0.6) = 0.01975 \text{ m}^3 / \text{s} = 19.8 \text{ lps}$$

$$C_1 = Kc * [2 * g * H_n]^{0.5} = 0.98 * [2 * 9.81 * 86]^{0.5} = 40.2 \text{ m / s}$$

$$d = [4 * Q / (\pi * C_1)]^{0.5} = [4 * 0.02 / (\pi * 40.2)]^{0.5} = 0.025 \text{ m}$$

$$U_1 = C_1 / 2 = 40.2 / 2 = 20.1 \text{ m / s}$$

$$D = 60 * U_1 * i / (\pi * N_g) = 60 * 20.1 * 1 / (\pi * 1500) = 0.255 \text{ m}$$

$$b = 3 * d = 3 * 0.025 = 0.075 \text{ m (ancho mínimo de la cuchara)}$$

$$Z = D * \pi / (2 * d) = 0.255 * \pi / (2 * 0.025) = 15.9$$

Puesto que el número mínimo de cucharas debe ser al menos 16 y el ancho calculado de las cucharas requeridas es mayor al que tiene disponible el fabricante, se decide construir una turbina con 2 inyectores; por consiguiente, cada inyector tendrá un caudal de 10 lps.

C_1 , U_1 y D son iguales porque la cabeza neta no cambia.

$$d = [4 * Q / (\pi * C_1)]^{0.5} = [4 * 0.01 / (\pi * 40.2)]^{0.5} = 0.0177 \text{ m}$$

$$b = 3 * d = 3 * 0.0177 = 0.0531 \text{ m}$$

$$Z = D * \pi / (2 * d) = 0.255 * \pi / (2 * 0.0177) = 22.6$$

De acuerdo con la tabla 2.1, un ancho de cuchara de 60 mm es adecuado para diámetros de inyector de 15-20 mm. El diámetro de la rueda de 255 mm y el número de cucharas (22) son razonables, así que la velocidad nominal se puede alcanzar con el generador acoplado directamente ($i = 1$).

Es posible que el caudal de 20 lps esté disponible en la fuente hídrica la mayor parte del tiempo. Solamente en los días de estación seca la descarga debe ser ajustada, cerrando un inyector completamente para garantizar la cabeza en la tubería forzada.

Tabla 2.1. Tamaños de cucharas estandarizadas

Diámetro de chorro d [mm]	Ancho de cuchara b [mm]
3-6	19
6-10	30
10-15	45
15-20	60
20-25	75
25-30	90

Fuente [7]

2.4 Cucharas

En el caso de las cucharas de la turbina Pelton se requiere un equipo de fundición. La fundición de cucharas para turbinas Pelton puede ser hecha copiando otras cucharas existentes. Es aconsejable fundir cucharas simples y después maquinas para fijarlas a la rueda del rotor; de esta forma se evitan moldes de fundición complicados.

No es recomendable fabricar cucharas de secciones de tubería u otro ingenio de construcción, debido a la escasez de resistencia y a la baja eficiencia.

En una cuchara parte del agua se desvía de una forma no deseada, es por eso que el número de cucharas no debe ser muy alto. De otra parte, no toda el agua del chorro puede impactar una cuchara si el número de cucharas es muy pequeño. El número de cucharas determina la eficiencia de la turbina.

Además de las fallas en la fabricación (tales como la fundición, el alineamiento, el pulimento de la superficie), el principal problema con las turbinas de chorro libre es la erosión en las cucharas, particularmente donde el agua impacta la cuchara, debido a aguas arenosas y sustancias químicas agresivas que contenga el agua.

Las cucharas pueden ser hechas de diferentes materiales, al igual que un rotor fundido de una sola pieza. En las turbinas Pelton modernas, las cucharas son principalmente de acero de fundición con 13 % de cromo, pero también se pueden usar otros materiales, como el hierro de fundición o aleaciones tales como el bronce o el aluminio, o moldes de inyección con plástico reforzado con fibra de vidrio.

Hay diferentes métodos para fijar las cucharas al disco del rotor (ver la Figura 2.5). Si las cucharas son pernaadas al disco, cada cuchara debe ser conectada al disco con dos pernos o con un perno y un pasador.

El pulimento de la superficie de las cucharas influye mucho en la eficiencia y el desgaste. Esto se debe a que frecuentemente deben ser pulidos tanto la superficie interna de la cuchara como los bordes de la superficie posterior.

2.5 Inyector

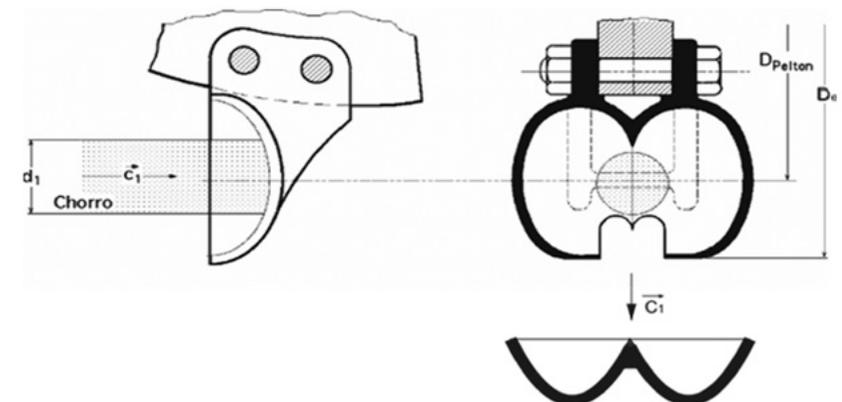
Las turbinas Pelton pueden tener más de 1 chorro, las turbinas con eje horizontal se construyen con 1 o 2 chorros, las turbinas con eje

vertical se construyen hasta para 6 chorros. El diámetro de la rueda se selecciona para alcanzar cierto número de revoluciones. Un diámetro mayor implica menor rpm y mayor número de cucharas. El diámetro del rotor no debe ser tan pequeño porque un número muy bajo de cucharas hará que parte del agua no impacte las cucharas. Algunas veces es preferible usar cucharas más pequeñas con la posibilidad de hacer el diámetro del rotor más pequeño.

Con cucharas más pequeñas el máximo diámetro del chorro queda limitado y, consecuentemente, el flujo de agua. Para superar este problema se puede instalar más de un chorro. El agua que viene de la tubería forzada es distribuida a los diferentes inyectores por un *manifold*. La tubería de distribución es gradualmente reducida hasta el último chorro.

El inyector debe ser diseñado de tal forma que la pérdida de presión sea lo más pequeña posible. Una velocidad incrementada del agua acarrea mayores pérdidas, debido a esto la parte del inyector en la cual se tiene alta velocidad debe ser lo más corta posible.

Figura 2.5. Estructura de una cuchara



Fuente: [Autor]

Ejercicios capítulo 2

2.1 Las turbinas hidráulicas, de acuerdo con el método de funcionamiento, se pueden clasificar en:

- a. Horizontal y vertical
- b. Simplemente regulada y doblemente regulada
- c. Lenta y rápida
- d. Impulso y reacción

R / d.

2.2 Se requiere una turbina hidráulica en una megacentral, para una cabeza neta de 500 m y un caudal de $2 \text{ m}^3 / \text{s}$. La turbina recomendada para estas condiciones sería:

- a. Francis
- b. Kaplan
- c. Pelton
- d. Propeller

R / c.

2.3 En un sistema de generación hidráulica la cabeza neta es 500 m y el caudal $2 \text{ m}^3 / \text{s}$. La potencia disponible es:

- a. 500 kW
- b. 9.8 MW
- c. 20 MW
- d. 980 MW

R / b.

2.4 Esta turbina también es conocida como turbina de impulso:

- a. Kaplan
 - b. Francis
 - c. Pelton
 - d. Propeller
- R / c.

2.5 El siguiente elemento no forma parte de una turbina:

- a. Inyector
- b. Rotor
- c. Carcasa
- d. Inversor

R / d.

2.6 En una turbina hidráulica este elemento divide el chorro de agua en dos partes iguales:

- a. Generador
- b. Tubería forzada
- c. Arista de la cuchara
- d. Inyector

R / c.

2.7 Un sistema de microgeneración hidráulica con turbina Pelton tiene una cabeza neta de 40 m y un caudal de 10 lps. El diámetro más recomendado del inyector es:

- a. 12 mm
- b. 22 mm
- c. 25 mm
- d. 30 mm

R / b.

2.8 Un sistema de microgeneración hidráulica con turbina Pelton tiene una cabeza neta de 40 m y un caudal de 10 lps. El ancho de cuchara estandarizado más recomendado es:

- a. 19 mm
- b. 45 mm
- c. 60 mm
- d. 75 mm

R / d.

2.9 Un sistema de microgeneración hidráulica con turbina Pelton tiene una cabeza neta de 40 m y un caudal de 10 lps. Con base en una eficiencia de 60 %, la potencia de salida en kW es:

- a. 1.0
- b. 1.4
- c. 2.4
- d. 5.4

R / c.

2.10 Un sistema de microgeneración hidráulica tiene una cabeza neta de 70 m y un caudal de 5 lps. El número de cucharas se estima en [asuma $N_g = 1800$; $i = 1.0$; $K_c = 0.98$]:

- a. 16
- b. 20
- c. 23
- d. 27

R / c.

2.11 Un sistema de microgeneración hidráulica tiene una cabeza neta de 50 m y un caudal de 10 lps. El número de cucharas se estima en [asuma $N_g = 1800$; $i = 1.5$; $K_c = 0.98$]:

- a. 15
- b. 19
- c. 23
- d. 28

R / b.

2.12 En un sistema de microgeneración con una cabeza neta de 100 m se va a instalar un generador de 30 kW de potencia de salida a 1800 rpm y se asume una eficiencia global de 60 %. Se tienen disponibles cucharas con un ancho de 75 mm. Se recomienda construir una turbina Pelton con un número de inyectores y un número de cucharas igual a [asuma $N_g = 1800$; $i = 1.0$; $K_c = 0.98$]

- a. 3; 16
- b. 2; 23
- c. 1; 25
- d. 6; 21

R / a.

2.13 Un sistema de microgeneración hidráulica tiene una cabeza neta de 20 m y un caudal de 5 lps. La potencia disponible en watts es igual a:

- a. 3200
- b. 9800
- c. 580
- d. 980

R / d.

2.14 Un sistema de microgeneración hidráulica tiene una cabeza neta de 20 m y un caudal de 5 lps. La potencia de salida en watts es igual a [asuma una eficiencia global del 60 %]:

- a. 2088
- b. 588
- c. 1588
- d. 288

R / b.

2.15 Un sistema de microgeneración hidráulica tiene una cabeza neta de 20 m y un caudal de 5 lps. Si se instala una turbina Pelton con un inyector, el ancho de cuchara estandarizado en cm es:

- a. 1.9
- b. 3.0
- c. 4.5
- d. 6.0

R / d.

2.16 A mayor diámetro de una rueda Pelton:

- a. Menor rpm
- b. Menor número de cucharas
- c. Mayor rpm
- d. Igual rpm

R / a.

3. Evaluación de sus necesidades energéticas

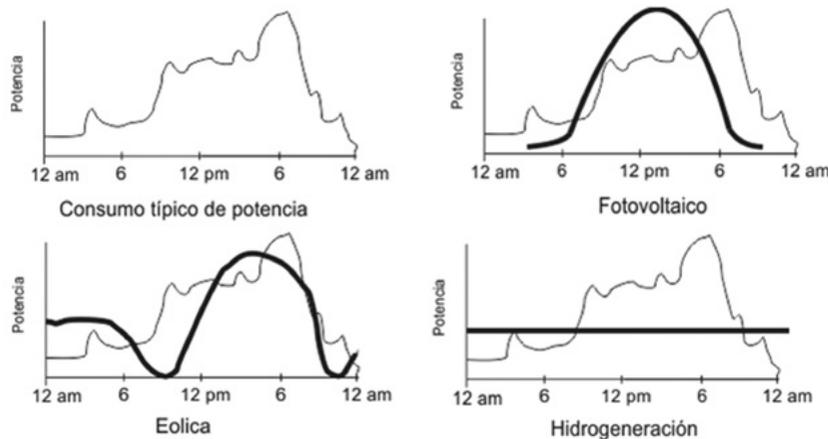
Vivimos en una sociedad de consumo; tenemos el hábito de usar más potencia de la que necesitamos.

En un sistema *off-grid* usted no es beneficiario de energía subsidiada y debe tener conciencia de la energía que usa. Si usted está explorando la posibilidad de producir su propia energía, entonces debe considerar la idea de la eficiencia.

Cuando usted genera su propia potencia no necesariamente paga por los kilowatts-hora (kWh) que consume, usted paga por la capacidad que tiene, debido a que su requerimiento de energía es variable (ver la Figura 3.1). En ese sentido, hay dos tipos de medición de potencia útiles.

- * Consumo: Es la cantidad promedio usada
- * Capacidad: Medida de la carga más grande requerida

Figura 3.1. Comparación de diferentes tecnologías



Fuente [1]

Evaluación de un sistema fotovoltaico

Los sistemas de generación fotovoltaico y eólico son evaluados, tradicionalmente, por su salida de potencia pico. Esto es la salida cuando el sol tiene su mayor radiación y cuando el viento tiene cierta velocidad (ver la Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Ejemplo de sistema fotovoltaico y sistema microhídrico

Sistema	Potencia [W]	Horas / día	kWh / mes
Fotovoltaico	300	5	45
Microhídrico	70	24	50

70 W en un sistema microhídrico producen más kWh al mes que 300 W en un sistema fotovoltaico.

Evaluación de un sistema eólico

El viento sopla algunas veces y otras no, algunas ocasiones con fuerza y otras débilmente. Con el fin de conocer cuántos kWh se obtienen de una máquina eólica, se necesita saber el promedio de velocidad del viento en el sitio. Si se dispone una pala en una corriente de aire, con una inclinación determinada con respecto a la dirección de esa corriente, se produce una sobrepresión en su parte delantera y una depresión en la posterior, lo que da lugar a una fuerza de acción aerodinámica, de acuerdo con la ecuación 3.1.

$$P_{\text{disponible}} [W] = \frac{1}{2} \rho [kg / m^3] * A [m^2] * V^3 [m/s^3] \quad [3.1]$$

- P = Potencia
- ρ = Densidad del aire
- A = Área barrida por el rotor del aerogenerador
- V = Velocidad del viento

Evaluación del sistema microhídrico

El sistema microhídrico es evaluado por su pico de salida, pero generalmente es el mismo que el promedio de salida. Mientras el agua fluye en el día y en la noche, el sistema producirá potencia; la hidroelectricidad no necesariamente es intermitente, como sí ocurre con el sol y el viento. Si el pico de salida de un sistema microhídrico es muy pequeño, un subsistema de batería e inversor dará el pico deseado. El desempeño de un sistema está limitado, fundamentalmente, por el tamaño del inversor, más que por cualquier otro factor [1].

Una bombilla se hará con energía de alto grado, tal como la electricidad. El calentamiento será la menor prioridad para un sistema de energía renovable.

3.1 Dimensionamiento de la tubería forzada

Para calcular la potencia disponible en un sistema microhídrico aplicamos la ecuación 3.2:

$$P_{\text{disponible}} [\text{w}] = \gamma [\text{N} / \text{m}^3] * Q [\text{m}^3 / \text{s}] * H_n [\text{m}] \quad [3.2]$$

γ = Peso específico [$\gamma = 9800 \text{ N} / \text{m}^3$ para el agua]

Q = Caudal

H_n = Cabeza neta

$$P_{\text{disponible}} [\text{w}] = Q [\text{gpm}] * H_n [\text{pies}] / 5.3 \quad [3.3]$$

Para calcular la potencia disponible en un sistema de microgeneración hidráulica se deben averiguar:

- El caudal disponible
- La presión estática o cabeza estática disponible

- La longitud, el diámetro y las características del material de la tubería requerida

$$H_{\text{Estático}} = P_{\text{Est.}} / \gamma \quad [3.4]$$

$$H_n = P_n / \gamma \quad [3.5]$$

$$H [\text{pies}] = P [\text{psi}] * 2.31 \quad [3.6]$$

Cabeza neta

Es la presión que tiene la tubería cuando el agua está fluyendo (ver la figura 3.2 siguiente página).

Caudal disponible

Lo primero que se necesita conocer es la cantidad total de agua disponible, lo cual es un factor que limita la potencia de salida.

$$P_{\text{salida}} = P_{\text{disponible}} * \eta \quad [3.7]$$

η = Eficiencia del sistema ≈ 0.6

P_{salida} = Potencia de salida en el generador

$$P_{\text{salida}} [\text{W}] = Q [\text{gpm}] * H_n [\text{pies}] / 8.83 \quad [3.8]$$

Raramente se usa todo el caudal de una fuente para un proyecto microhídrico. La cantidad de agua disponible es un factor que limita la potencia de salida. La tubería es costosa y generalmente surgen consideraciones económicas que limitan el diámetro y la longitud, y como consecuencia la cantidad de agua usada en el sistema.

Método del contenedor

Para medir cuánta agua hay en una fuente, tome un contenedor de volumen conocido y mida el tiempo que tarda en llenarse.

$$Q [\text{gpm}] = V [\text{galones}] / t [\text{minutos}] \quad [3.9]$$

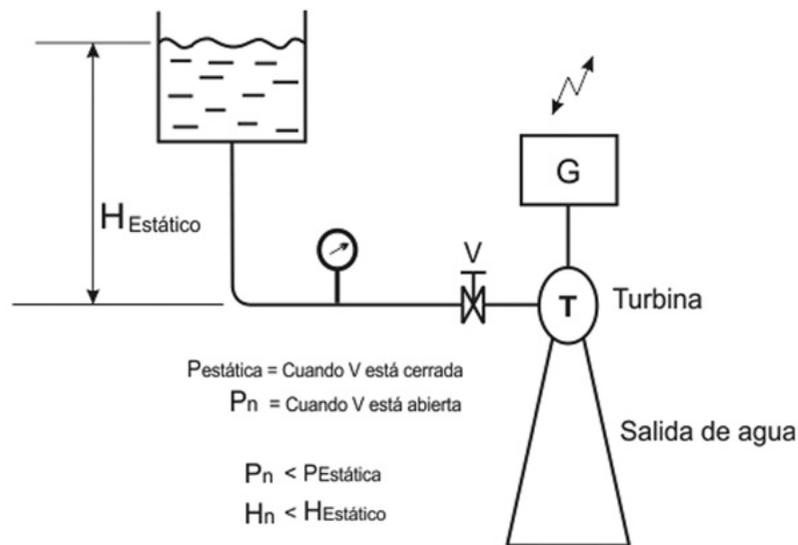
Q = Caudal
V = Volumen
t = Tiempo

Cuando el caudal es muy alto, de tal forma que el contenedor se llena muy rápidamente, se usan otros métodos, como medir el área transversal de la fuente y la velocidad del agua (la velocidad se puede medir con tinta o con un elemento flotante).

$$Q = V * A \quad [3.10]$$

V = Velocidad
A = Área

Figura 3.2. Sistema de microhidrogeneración



Fuente: [Autor]

Medición de presión

La mayor presión se mide cuando el agua no se está moviendo; esto es presión estática. La forma más fácil de medir la cabeza es medir la presión en una tubería existente o en una manguera y convertirla en cabeza.

$$H \text{ [pies]} = P \text{ [psi]} * 2.31 \quad [3.11]$$

La pérdida óptima de cabeza es del 25 % de acuerdo con la ecuación 3.12 [1].

$$P_{neta} = (3/4) P_{Estática} \quad [3.12]$$

$$H_n = (3/4) H_{Estático} \quad [3.13]$$

Ejemplo 3.1

Calcular la altura neta del sistema de la figura 3.3, siguiente página.

Solución:

$$P_n = (3/4) * P_{est.} = (3/4) * 65 \approx 49 \text{ psi}$$

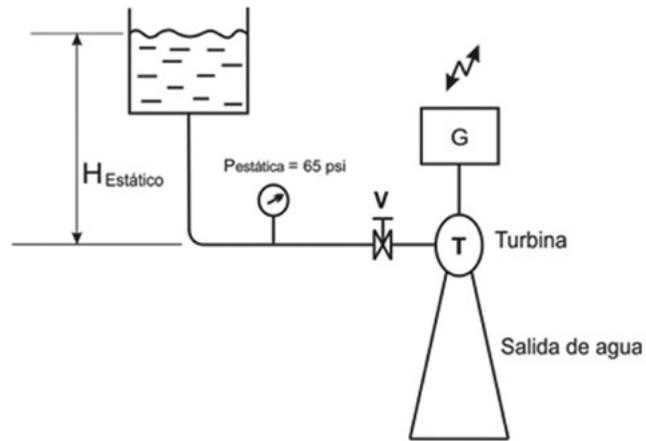
$$H_{est.} = P_{est.} * 2.31 = 65 * 2.31 \approx 150 \text{ pies}$$

$$H_n = P_n * 2.31 = 49 * 2.31 \approx 113 \text{ pies} \blacktriangleleft$$

Ejemplo 3.2

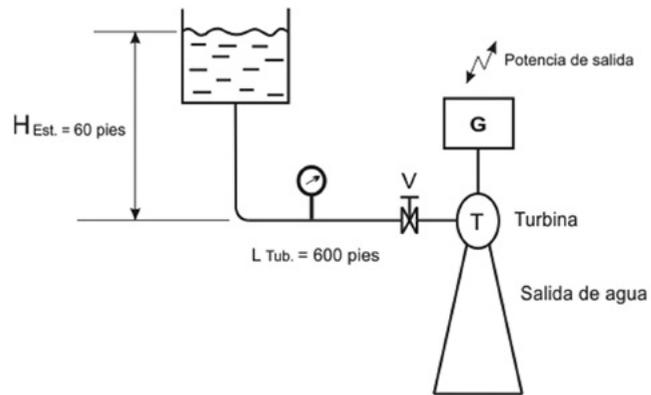
En el sistema de la Figura 3.4, diseñar la tubería forzada y estimar la potencia de salida.

Figura 3.3. Sistema de microgeneración hidráulica



Fuente: [Autor]

Figura 3.4. Sistema de microgeneración hidráulica



Fuente: [Autor].

Solución:

$$H_n = (3/4) H_{est.} = 0.75 * 60 = 45 \text{ pies}$$

$$\text{Pérdida ideal de cabeza} = 15 \text{ pies}$$

$$\text{Pérdida respecto al tramo de tubería} = 15 / 600 = 0.025 = 2.5 \%$$

Del anexo 4, para tubería PVC 2 in, se tiene un caudal óptimo ≈ 30 gpm

$$P_{salida} [W] = Q [gpm] * H_n [pies] / 8.83 = 30 * 45 / 8.83 = 152.8 W$$

Del anexo 4, para tubería PVC 3 in, se tiene un caudal óptimo ≈ 90 gpm

$$P_{salida} [W] = Q [gpm] * H_n [pies] / 8.83 = 90 * 45 / 8.83 = 458.6 W$$

Si el sistema está limitado a un caudal de 20 gpm.

Del anexo 4, para tubería PVC 2 in, se tiene una pérdida = 1.1 %

$$1.1 * 600 / 100 = 6.6 \text{ pies}$$

$$H_n = 60 - 6.6 = 53.4 \text{ pies}$$

$$P_{salida} [W] = Q [gpm] * H_n [pies] / 8.83 = 20 * 53.4 / 8.83 = 120.9 W$$

Del anexo 4, para tubería PVC 3 in, se tiene una pérdida = 0.2 %

$$0.2 * 600 / 100 = 1.2 \text{ pies}$$

$$H_n = 60 - 1.2 = 58.8 \text{ pies}$$

$$P_{salida} [W] = Q [gpm] * H_n [pies] / 8.83 = 20 * 58.8 / 8.83 = 133.1 W$$

Tabla 3.2. Resultados de potencia de salida para tubería PVC

	2 in	3 in	2 in	3 in
Q [gpm]	30	90	20	20
Hn [pies]	45	45	53.4	58.8
P salida [W]	152.8	458.6	120.9	133.1

Se observa en la tabla 3.2 que para una tubería de 2 in y un caudal de 20 gpm la potencia de salida estimada es de 120.9 W. Si se aumenta el diámetro a 3 in, se obtiene una potencia de 133.1 W.

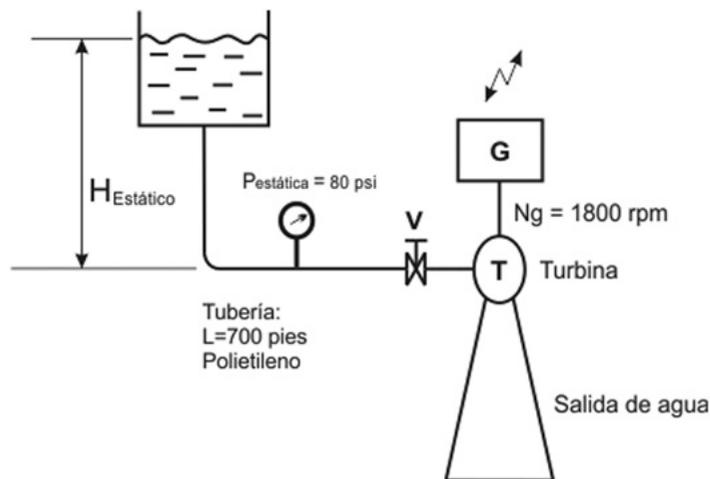
Se debe tomar una decisión sobre el dimensionamiento de la tubería y la potencia estimada.

Ejemplo 3.3

En el sistema de la Figura 3.5,

- Diseñar la tubería forzada
- Estimar la potencia de salida
- Calcular las principales dimensiones de la turbina Pelton [$i = 1$]

Figura 3.5. Sistema de microgeneración hidráulica



Fuente: [Autor].

Solución:

$$\begin{aligned} \text{Pest.} &= 80 \text{ psi} \\ \text{Pn} &= (3/4) \text{ Pest.} = 60 \text{ psi} \\ \text{Hn} &= \text{Pn} * 2.31 = 138.6 \text{ pies} = 42.24 \text{ m} \\ \text{Hest.} &= \text{Pest.} * 2.31 = 184.8 \text{ pies} \\ \text{Pérdida} &= \text{Hest.} - \text{Hn} = 46.2 \text{ pies} \\ 46.2 / 700 &= 0.066 \end{aligned}$$

De la tabla del anexo 3 para un diámetro de tubería forzada de 2 in se obtiene un caudal óptimo = 55 gpm = 0.0034 m³ / s ◀

$$\begin{aligned} \text{b. } P_{\text{salida}} &= Q [\text{gpm}] * \text{Hn} [\text{pies}] / 8.83 = 55 * 138.6 / 8.83 = 863.3 \text{ W} \quad \blacktriangleleft \\ P_{\text{disponible}} &= P_{\text{salida}} / \eta = 863.3 / 0.6 = 1438.8 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } C1 &= Kc [2 * g * \text{Hn}]^{0.5} = 0.98 [19.6 * 42.24]^{0.5} = 28.19 \text{ m / s} \\ d &= [4 * Q / (\pi * C1)]^{0.5} = [4 * 0.0034 / (\pi * 28.19)]^{0.5} = 0.012 \text{ m} \end{aligned}$$

(diámetro del inyector) ◀

$$U1 = C1 / 2 \approx 14 \text{ m / s}$$

$$b = 3 * d = 3 * 0.012 = 0.036 \text{ m (ancho de la cuchara)} \quad \blacktriangleleft$$

$$h = 2.5 * d = 2.5 * 0.012 = 0.03 \text{ m}$$

$$h_1 = 0.2 * d = 0.0024 \text{ m}$$

$$h_2 = 1.2 * d = 0.0144 \text{ m}$$

$$D = 60 * U1 * i / (\pi * Ng) = 60 * 14 * 1 / (\pi * 1800) = 0.148 \text{ m}$$

(diámetro de la rueda) ◀

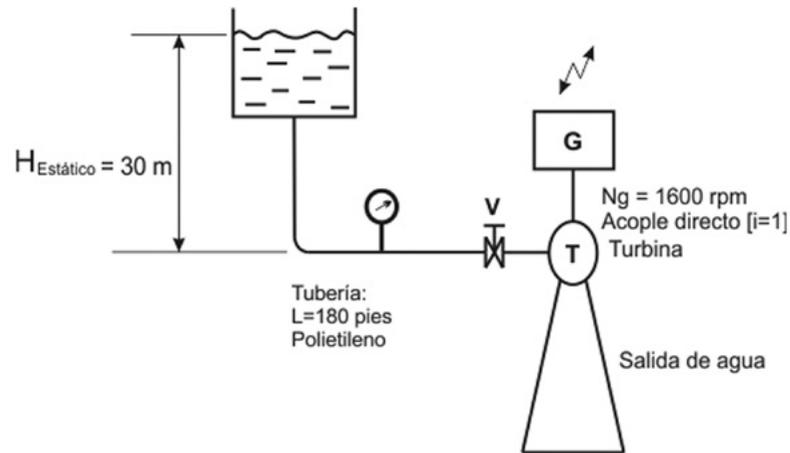
$$Z = D * \pi / (2 * d) = 0.148 * \pi / (2 * 0.012) \approx 19 \text{ (número de cucharas)} \quad \blacktriangleleft$$

Ejemplo 3.4

En el sistema de la figura 3.6,

- Diseñar la tubería forzada
- Estimar la potencia de salida
- Calcular las principales dimensiones de la turbina Pelton

Figura 3.6. Sistema de microgeneración hidráulica



Fuente: [Autor]

Solución:

$$\begin{aligned} \text{a. Hest.} &= 30 \text{ m} \\ H_n &= 0.75 * 30 = 22.5 \text{ m} = 73.8 \text{ pies} \\ \text{Pérdida} &= 7.5 \text{ m} \\ 7.5 / 180 &= 0.0416 \end{aligned}$$

De la tabla del anexo 3 para un diámetro de tubería forzada de 2 in se obtiene un caudal óptimo = 43 gpm = 0.0027 m³ / s ◀

$$\begin{aligned} \text{b. } P_{\text{salida}} &= Q [\text{gpm}] * H_n [\text{pies}] / 8.83 = 43 * 73.8 / 8.83 = 359.3 \text{ W} \blacktriangleleft \\ P_{\text{disponible}} &= P_{\text{salida}} / \eta = 359.3 / 0.6 = 598.8 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } C_1 &= K_c [2 * g * H_n]^{0.5} = 0.98 [19.6 * 22.5]^{0.5} = 20.58 \text{ m / s} \\ d &= [4 * Q / (\pi * C_1)]^{0.5} = [4 * 0.0027 / (\pi * 20.58)]^{0.5} = 0.0129 \text{ m} \\ &\text{(diámetro del inyector) } \blacktriangleleft \\ U_1 &= C_1 / 2 \approx 10.29 \text{ m / s} \end{aligned}$$

$$\text{b} = 3 * d = 3 * 0.0129 = 0.038 \text{ m (ancho de la cuchara) } \blacktriangleleft$$

$$\begin{aligned} D &= 60 * U_1 * i / (\pi * N_g) = 60 * 10.29 * 1 / (\pi * 1600) = 0.1228 \text{ m} \\ &\text{(diámetro de la rueda) } \blacktriangleleft \end{aligned}$$

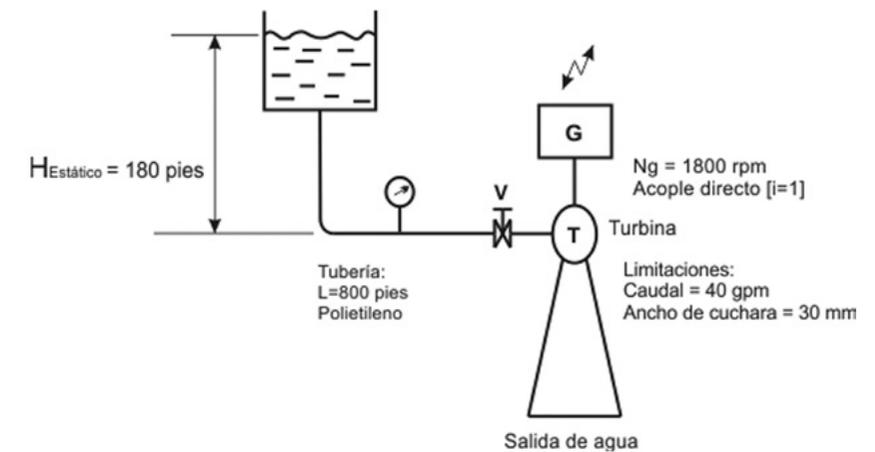
$$Z = D * \pi / (2 * d) = 0.1228 * \pi / (2 * 0.0129) \approx 15 \text{ (número de cucharas) } \blacktriangleleft$$

Ejemplo 3.5

En el sistema de la Figura 3.7,

- Diseñar la tubería forzada
- Estimar la potencia de salida
- Calcular las principales dimensiones de la turbina Pelton

Figura 3.7. Sistema de microgeneración hidráulica



Fuente: [Autor]

Solución:

$$\begin{aligned} \text{a. Hest.} &= 180 \text{ pies} \\ H_n &= 0.75 * 180 = 135 \text{ pies} \\ \text{Pérdida} &= 45 \text{ pies} \\ 45 / 800 &= 0.056 \end{aligned}$$

De la tabla del anexo 3 para un diámetro de tubería forzada de 2 in se obtiene un caudal óptimo = 50 gpm

Como el caudal debe ser = 40 gpm = 0.0025 m³ / s del anexo 3 la pérdida = 3.6 %

$$0.036 * 800 = 28.8 \text{ pies}$$

$$H_n = 180 - 28.8 = 151.2 \text{ pies} = 46 \text{ m} \blacktriangleleft$$

$$\begin{aligned} \text{b. } P_{\text{salida}} &= Q [\text{gpm}] * H_n [\text{pies}] / 8.83 = 40 * 151.2 / 8.83 = 685 \text{ W} \blacktriangleleft \\ P_{\text{disponible}} &= P_{\text{salida}} / \eta = 685 / 0.6 = 1141.6 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } C_1 &= K_c [2 * g * H_n]^{0.5} = 0.98 [19.6 * 46]^{0.5} = 29.4 \text{ m / s} \\ d &= [4 * Q / (\pi * C_1)]^{0.5} = [4 * 0.0025 / (\pi * 29.4)]^{0.5} = 0.010 \text{ m} \\ &\text{(diámetro del inyector) } \blacktriangleleft \\ U_1 &= C_1 / 2 \approx 14.7 \text{ m / s} \end{aligned}$$

$$b = 3 * d = 3 * 0.01 = 0.03 \text{ m (ancho de la cuchara) } \blacktriangleleft$$

$$D = 60 * U_1 * i / (\pi * N_g) = 60 * 14.7 * 1 / (\pi * 1800) = 0.1559 \text{ m} \\ \text{(diámetro de la rueda) } \blacktriangleleft$$

$$Z = D * \pi / (2 * d) = 0.1559 * \pi / (2 * 0.01) \approx 24 \text{ (número de cucharas) } \blacktriangleleft$$

Ejemplo 3.6

En el sistema de la Figura 3.8, siguiente página.

- Diseñar la tubería forzada
- Estimar la potencia de salida
- Calcular las principales dimensiones de la turbina Pelton

Solución:

$$\begin{aligned} \text{a. Hest.} &= 200 \text{ pies} \\ H_n &= 0.75 * 200 = 150 \text{ pies} = 45.7 \text{ m} \\ \text{Pérdida} &= 50 \text{ pies} \\ 50 / 680 &= 0.073 \end{aligned}$$

De la tabla del anexo 3 para un diámetro de tubería forzada de 2 in se obtiene un caudal óptimo = 60 gpm = 0.0037 m³ / s

$$\begin{aligned} \text{b. } P_{\text{salida}} &= Q [\text{gpm}] * H_n [\text{pies}] / 8.83 = 60 * 150 / 8.83 = 1019.2 \text{ W} \blacktriangleleft \\ P_{\text{disponible}} &= P_{\text{salida}} / \eta = 1019.2 / 0.6 = 1698.6 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } C_1 &= K_c [2 * g * H_n]^{0.5} = 0.98 [19.6 * 45.7]^{0.5} = 29.3 \text{ m / s} \\ d &= [4 * Q / (\pi * C_1)]^{0.5} = [4 * 0.0037 / (\pi * 29.3)]^{0.5} = 0.0126 \text{ m} \\ &\text{(diámetro del inyector) } \blacktriangleleft \\ U_1 &= C_1 / 2 \approx 14.6 \text{ m / s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= 3 * d = 3 * 0.01 = 0.038 \text{ m (ancho mínimo de la cuchara) } \blacktriangleleft \\ \text{Limitante } b &= 30 \text{ mm, entonces se instalan 2 inyectores.} \end{aligned}$$

$$Q = 0.0037 / 2 = 0.00185 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$d = [4 * Q / (\pi * C_1)]^{0.5} = [4 * 0.00185 / (\pi * 29.3)]^{0.5} = 0.00896 \text{ m} \\ \text{(diámetro del inyector) } \blacktriangleleft$$

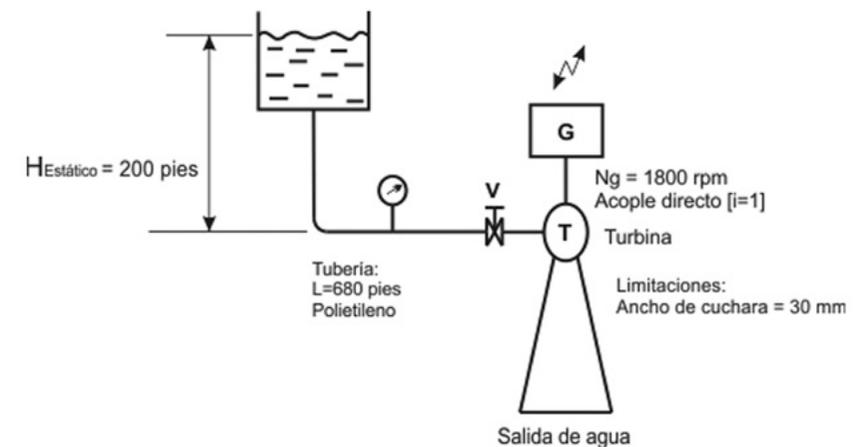
$$b = 3 * d = 3 * 0.00896 = 0.026 \text{ m} = 26 \text{ mm (ancho mínimo de la cuchara) } \blacktriangleleft$$

Luego se colocan las cucharas de 30 mm.

$$D = 60 * U_1 * i / (\pi * N_g) = 60 * 14.6 * 1 / (\pi * 1800) = 0.154 \text{ m} \\ \text{(diámetro de la rueda) } \blacktriangleleft$$

$$Z = D * \pi / (2 * d) = 0.154 * \pi / (2 * 0.00896) \approx 27 \text{ (número de cucharas) } \blacktriangleleft$$

Figura 3.8. Sistema de microgeneración hidráulica



Fuente: [Autor]

Ejercicios capítulo 3

3.1 Un sistema microhídrico produce 120 W si trabaja 24 horas al día. La energía en kWh que produce al mes es:

- a. 126.4
- b. 86.4
- c. 56.4
- d. 26.4

R / b.

3.2 Una energía que fácilmente pueda ser transformada es una energía de:

- a. Bajo grado
- b. Medio grado
- c. Alto grado
- d. Ineficiente

R / c.

3.3 La energía más adecuada para el calentamiento de agua es de:

- a. Bajo grado
- b. Medio grado
- c. Alto grado
- d. Muy alto grado

R / a.

3.4 Una pequeña central hidráulica tiene un caudal de $0.08 \text{ m}^3/\text{s}$ y una cabeza neta de 200 m. La potencia disponible en kW de este sistema es:

- a. 156.8
- b. 256.8
- c. 356.8
- d. 456.8

R / a.

3.5 Un sistema microhídrico tiene un caudal de 80 gpm y una cabeza neta de 200 pies. La potencia disponible en kW de este sistema es:

- a. 3.02
- b. 10.02
- c. 15.02
- d. 20.02

R / a.

3.6 Un sistema tiene una presión estática de 100 psi. La cabeza estática en pies de este sistema es:

- a. 131
- b. 231
- c. 331
- d. 531

R / b.

3.7 Un sistema microhídrico tiene una presión estática de 200 kPa. La cabeza estática en m de este sistema es:

- a. 10.4
- b. 15.4
- c. 20.4
- d. 30.4

R / c.

3.8 Un sistema microhídrico tiene una cabeza neta de 160 pies. La presión neta en psi de este sistema es:

- a. 19.3
- b. 39.3
- c. 49.3
- d. 69.3

R / d.

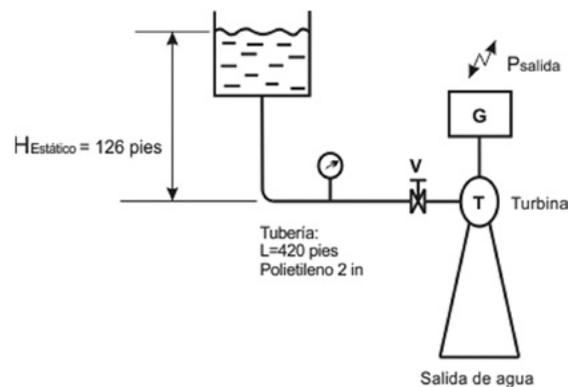
3.9 Un sistema microhídrico tiene una cabeza estática de 184 pies, tubería PVC; la longitud de la tubería es de 680 pies, el diámetro de 2 in. El caudal óptimo [gpm] y la potencia de salida [W] estimada son:

- a. 50; 781
- b. 80; 781
- c. 40; 184
- d. 50; 681

R / a.

3.10 En el sistema de la Figura 3.9, estimar la potencia de salida [W] y el caudal óptimo [gpm].

Figura 3.9. Sistema de microgeneración hidráulica



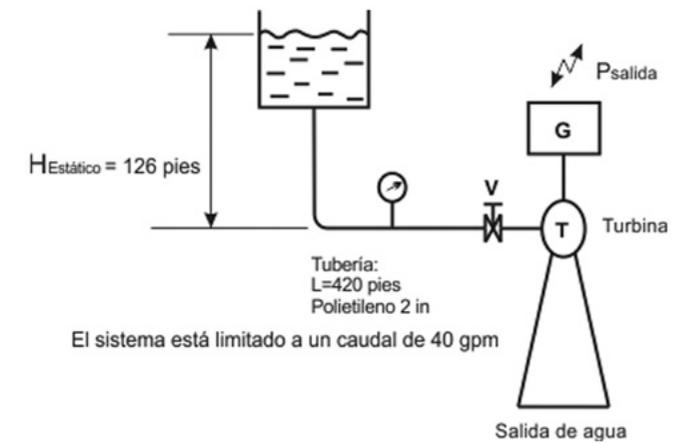
Fuente: [Autor].

- a. 142; 60
- b. 442; 60
- c. 542; 80
- d. 642; 60

R / d.

3.11 En el sistema de la Figura 3.10, la potencia de salida estimada es:

Figura 3.10. Sistema de microgeneración hidráulica



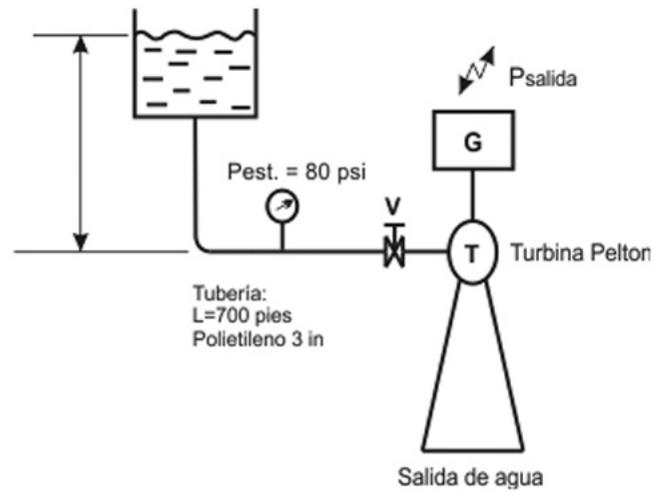
Fuente: [Autor].

- a. 493
- b. 393
- c. 593
- d. 693

R / a.

3.12 En el sistema de la Figura 3.11, estimar el caudal óptimo [gpm], la potencia de salida [kW] y el diámetro del inyector [mm].

Figura 3.11. Sistema de microgeneración hidráulica



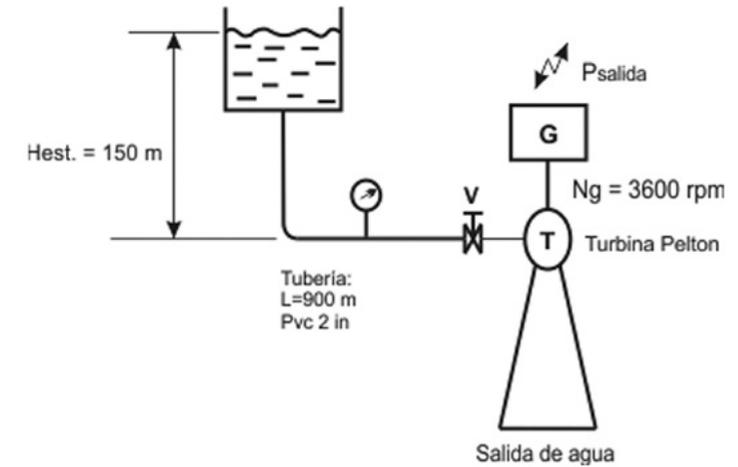
Fuente: [Autor].

- a. 161.3; 2.53; 21
- b. 100; 3.53; 25
- c. 170; 3.53; 21
- d. 161.3; 4.53; 15

R / a.

3.13 En el sistema de la Figura 3.12, estimar la potencia de salida [W], el diámetro del inyector [mm], el ancho de la cuchara [mm] y el número de cucharas.

Figura 3.12. Sistema de microgeneración hidráulica



Fuente: [Autor].

- a. 1672; 8.3; 24; 23
- b. 230; 15; 50; 18
- c. 1500; 16; 70; 17
- d. 1720; 10.5; 28; 21

R / a.

3.14 Un sistema microhídrico funciona con una potencia de 1500 W las 24 horas del día. La producción de energía mensual en kWh es:

- a. 1080
- b. 2080
- c. 580
- d. 36

R / a.

3.15 Un sistema hidráulico tiene un caudal de 250 lps y una cabeza neta de 240 m. La potencia disponible en MW de este sistema es:

- a. 20.59
- b. 2.59
- c. 0.59
- d. 0.059

R / c.

3.16 Un sistema microhidráulico tiene una potencia disponible de 40 kW. Si la altura neta es de 80 m, el caudal [lps] es:

- a. 11
- b. 51
- c. 71
- d. 91

R / b.

3.17 Un sistema microhidráulico está limitado a un caudal de 80 gpm; si la potencia disponible es de 20 kW, la presión neta [psi] es:

- a. 574
- b. 874
- c. 174
- d. 74

R / a.

3.18 Un sistema microhidráulico tiene una cabeza estática de 70 m, la tubería tiene una longitud de 600 pies y es de polietileno 3 in. El diámetro del inyector [mm] y el ancho estándar de la cuchara [mm] son:

- a. 15; 75
- b. 22.6; 60
- c. 16.6; 60
- d. 22.6; 75

R / d.

3.19 Un sistema microhidráulico tiene una cabeza estática de 70 m, la tubería tiene una longitud de 600 pies y es de PVC 3 in. El caudal óptimo [gpm] y el diámetro del inyector [mm] son:

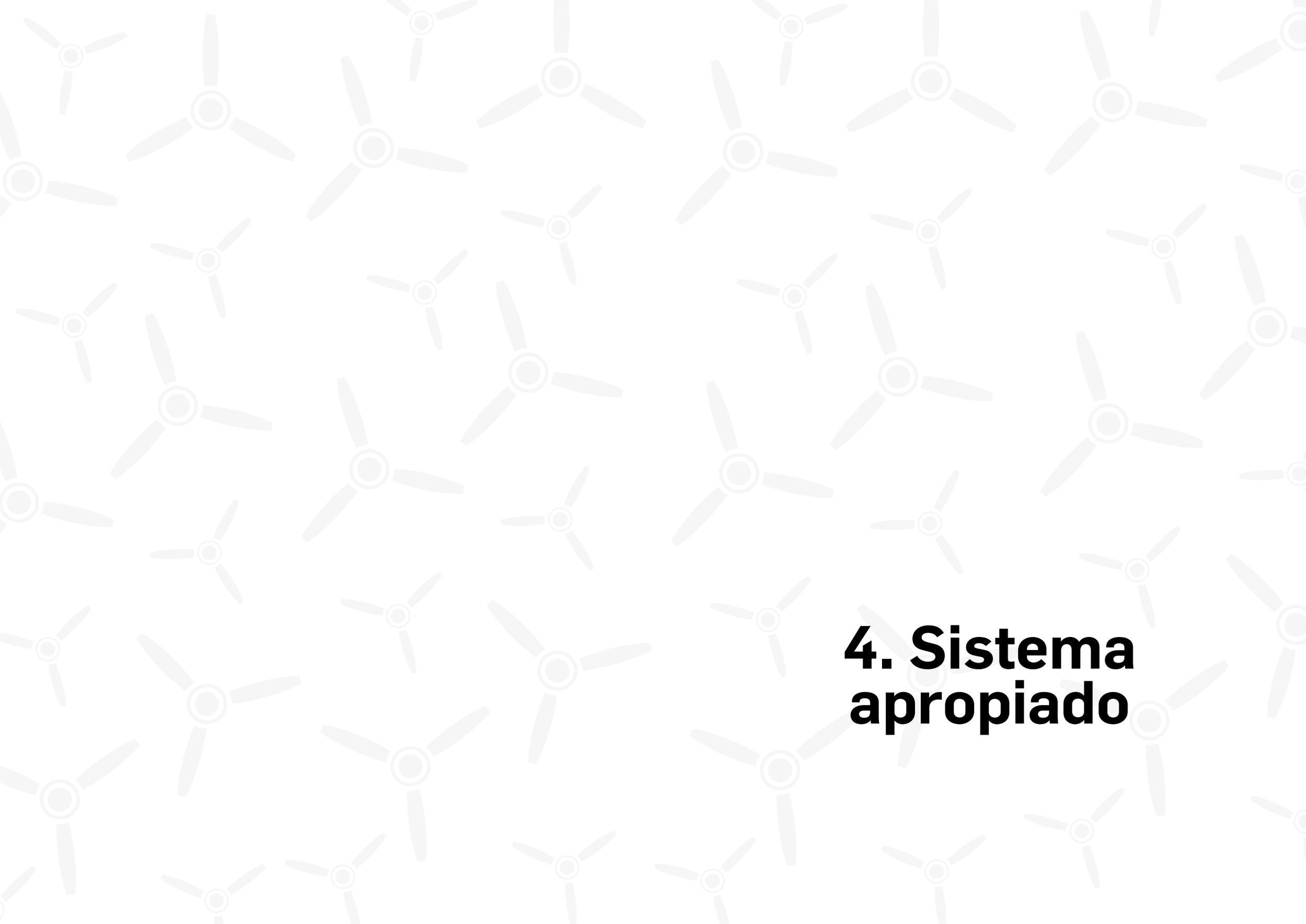
- a. 182.6; 21.5
- b. 21.5; 182.6
- c. 15.5; 182.6
- d. 152.6; 12.5

R / a.

3.20 Un sistema microhidráulico tiene una cabeza estática de 70 m, la tubería tiene una longitud de 600 pies y es de polietileno 3 in, $N_g = 1200$ rpm, acople directo. El número de cucharas de la turbina Pelton es:

- a. 21
- b. 25
- c. 19
- d. 16

R / d.

The background of the slide features a repeating pattern of stylized wind turbines. Each turbine is depicted with three blades and a central hub, rendered in a light gray color. The turbines are scattered across the entire page, creating a subtle, textured effect.

4. Sistema apropiado

4.1 Sistema de carga de batería

Baterías en microhídrido

A diferencia de otras tecnologías renovables, microhídrido no es intermitente. Entonces, ¿por qué usar baterías? Muchos sistemas microhídrido almacenan energía en baterías y usan inversores para convertir en AC. La ventaja de este sistema es que acumula energía a una potencia y la entrega a mayor potencia cuando resulta necesario. Esto hace sitios de muy baja potencia de salida, en sitios de potencia útil. En vez de proporcionar picos de potencia, la turbina solo tiene que entregar la potencia promedio requerida por el sistema.

Carga de baterías

Una gran ventaja de cargar baterías es que una turbina puede ser usada para un amplio rango de cabezas: altas, medias y bajas de hasta 6 pies. Hay turbinas diseñadas específicamente para sistemas de carga de batería de baja cabeza.

El uso de la electricidad varía durante el día. El mayor uso de la electricidad en una situación *off-grid* podría ser la iluminación, que puede funcionar una parte del tiempo, tarde en la noche. Todo el día la turbina puede estar cargando las baterías para que resistan el uso pesado en la noche.

Las turbinas microhídrido usualmente cargan a la misma rata todo el tiempo. Esto contrasta con el sistema fotovoltaico, debido a que el sol se nubla ocasionalmente y se oculta en las noches. El viento puede soplar en el día y en la noche, pero puede no hacerlo por días, aun en los buenos sitios, lo que lo convierte en otra fuente intermitente. Como resultado, los requerimientos para un sistema microhídrido son menores comparados con otras tecnologías. Mientras que un sistema fotovoltaico o eólico que tienen un subsistema con baterías almacena suficiente energía para algunos días sin sol o viento, el sistema microhídrido solo necesita almacenar energía por unas pocas horas.

Las baterías en un sistema microhídrido se descargan menos que en otro tipo de sistema, y son prontamente recargadas. Esto significa que durarán más. Un sistema microhídrido generalmente tiene sus baterías recargadas diariamente. Muchas veces, las baterías son dimensionadas para proporcionar suficiente corriente al inversor, preferiblemente para suministrar alguna cantidad de capacidad almacenada.

Las baterías no son estrictamente requeridas. Aun en sistemas microhídrido pequeños es posible que las baterías puedan ser eliminadas si se desea. Y los sistemas más grandes no necesitan baterías.

El sistema microhídrido tiende a producir más potencia de la que es necesaria, y muchos problemas de la batería vienen de la sobrecarga [1].

Las baterías almacenan una potencia que se puede usar cuando se requiera. Se utilizan 2 para sistemas pequeños, 4 o más para sistemas grandes, dependiendo del tamaño del inversor que se escoja. El número de baterías se determina principalmente por el tamaño del inversor.

Control de carga

Todo sistema de carga de baterías requiere un control de carga. Es usual que las baterías se carguen *full*; si las baterías continúan cargándose, la energía será usada para evaporar el electrolito y eventualmente se secarán y se dañarán.

El control de carga se lleva a cabo con un equipo llamado controlador divisor, el cual censa el voltaje en la batería. Cuando el voltaje es muy alto indica que no se requiere más carga, y el controlador divisor cambia a una carga secundaria para no sobrecargar la batería.

Producción de AC a partir de baterías con un inversor

AC es una forma más útil de electricidad que DC, el inconveniente es que AC no puede ser almacenada como DC. El inversor hace posible la conversión de DC en AC y proporciona electricidad ordina-

ria en la misma forma en que se usa. Los inversores proporcionan picos de potencia de salida incrementada para los arranques que los motores y otras aplicaciones necesitan. Almacenar una potencia que será usada cuando se requiera hace más útiles las fuentes de potencia muy pequeñas. Muchos sistemas microhídrico tienen más potencia de la que pueden usar. Cuando este es el caso, el tamaño del inversor es el factor más importante en el desempeño del sistema; un inversor de mayor capacidad hará que el sistema parezca más grande, especialmente cuando las cargas son cargas de motor, como el refrigerador.

En general, el calentamiento de las resistencias y el de las baterías no deben mezclarse. Por consiguiente, elementos como las planchas y los secadores de ropa no trabajarán satisfactoriamente en un sistema de carga de batería. Si el inversor arranca estas cargas, posiblemente no se tengan suficientes kWh disponibles en la batería para hacerlos funcionar a lo largo del tiempo.

Alternadores

Una práctica muy común es generar AC con un alternador y luego rectificar, lo cual significa cambiar a DC para cargar baterías.

Alternadores de carro: Están disponibles y no son muy costosos, pero son ineficientes. Sus escobillas necesitan remplazo periódico y podrían durar un año o menos si tienen carga pesada.

Alternadores de magneto permanente: Son diseñados específicamente para sistemas micohídrico y son eficientes en un amplio rango de velocidades de rotación. El diseño de magneto permanente significa que no se requiere mantenimiento regular y la expectativa de vida de los rodamientos puede ser de muchos años.

Motores de inducción: Se pueden usar como alternadores sin escobillas. Pueden sufrir también de problemas de control y eficiencia, pero son extremadamente económicos y robustos.

Sobredimensionar un alternador es una estrategia razonable. Un alternador sin escobillas de 1 kW producirá 25 *watts* con eficiencia razonable.

Turbinas

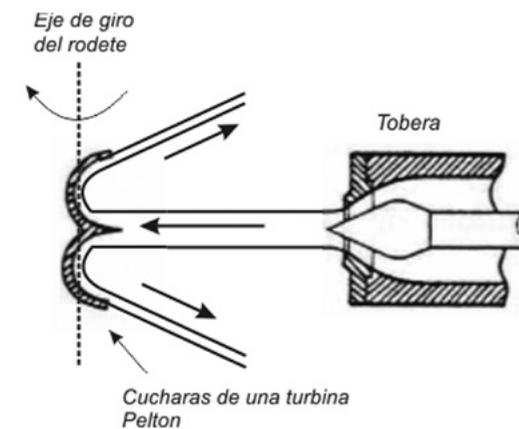
Para sistemas microhídrico de carga de batería se usan turbinas de impulso como Turgo y Pelton, con alta cabeza (que puede ir de 6 pies a 600 pies). Las turbinas de reacción se usan con baja cabeza (que puede ir de 2 pies a 10 pies). Los sistemas microhídrico de AC requieren cabezas más altas, de al menos 75 pies, para ser considerados de alta cabeza.

Turbinas de impulso para alta cabeza

Las turbinas de impulso (ver la Figura 4.1) se usan para cabezas entre 6 pies y 600 pies.

- Turgo: Es una turbina de impulso usada comúnmente. El chorro de agua impacta el rotor en un ángulo. Esta turbina puede trabajar con menos cabeza que la Pelton.

Figura 4.1. Impacto del chorro en una turbina Pelton



Fuente [2]

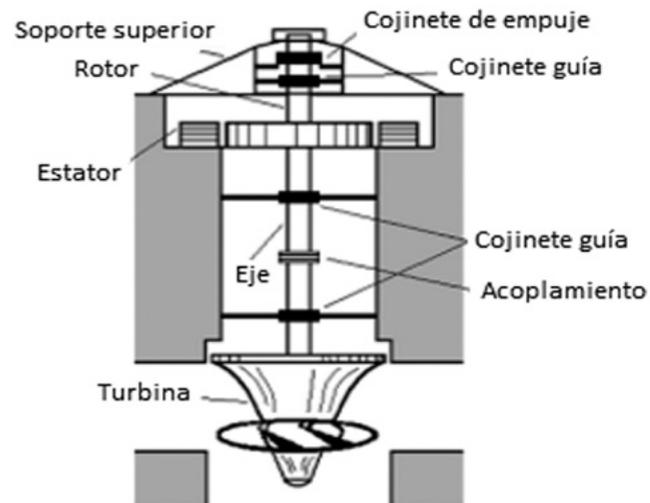
- Pelton: Es otro tipo de turbina de impulso usada específicamente para bajo flujo y alta cabeza. El chorro de agua impacta el rotor en su circunferencia y puede ser ligeramente más eficiente que la Turgo.

Turbinas de baja cabeza

Baja cabeza para sistemas de carga de batería significa que mide menos de 12 pies. Las turbinas que trabajan en este rango son turbinas de reacción, por ejemplo la LH-1000 (Low Head 1000 W) tiene una potencia de salida de 1000 W con 10 pies de cabeza usando 883 gpm.

$$P_{out} [W] = Q [gpm] * H_n [pies] / 8.83 \quad [4.1]$$

Figura 4.2. Turbina hélice de baja cabeza



Fuente [2]

Construya su propia turbina

Una bomba centrífuga es similar a una turbina Francis, solo que funciona a la inversa. Las bombas son económicas, están disponibles y se vuelven una alternativa atractiva debido a los altos precios de una turbina y a que se han empleado con éxito en muchos casos.

El detalle exacto de cómo trabajan las bombas como turbinas no es comúnmente especificado, pero se puede predecir que la eficiencia es baja. En microgeneración la salida de la turbina Francis es bastante sensible a los cambios en la cabeza y el flujo. Esto contrasta con las turbinas de impulso, como la Pelton o la Turgo, las cuales pueden operar eficientemente en un amplio rango de cabezas y flujos.

Un motor de inducción, equipado con excitación a través de un capacitor, generará electricidad y funcionará como un pequeño alternador sin escobillas [1].

Dirigir un chorro bajo presión sobre ciertas superficies causará que se obtenga potencia [8]. Aunque esto parece bastante económico, se debe tener en cuenta que los sistemas ineficientes necesitarán tuberías y válvulas más grandes, lo cual no resulta tan económico.

Balance del sistema

Baterías

* **Baterías RV:** Las baterías con la designación RV no son realmente baterías de ciclo profundo. El ciclo profundo significa que la batería puede ser descargada profundamente y recargada muchas veces sin reducir significativamente su vida útil. Ofrecen buen desempeño para arrancar una máquina sin daño.

* **Baterías carro de golf:** Las baterías con la denominación *carro de golf* son hechas para ciclo profundo; este tipo es el más comúnmente usado para sistemas microhídrico puesto que son las baterías más pequeñas de su clase y no se requiere gran capacidad.

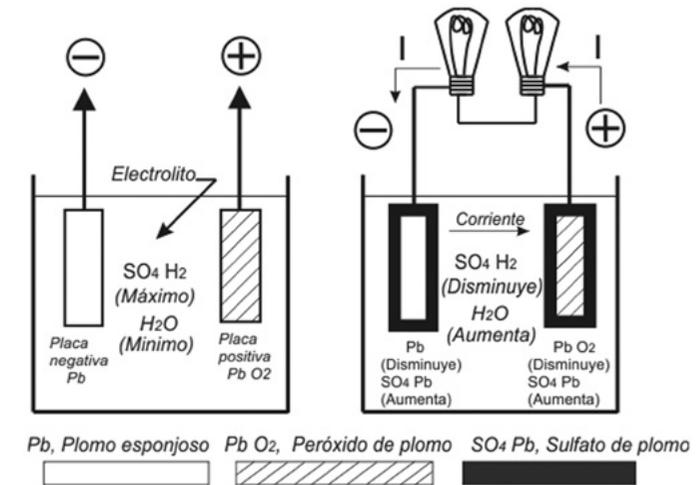
* **Otra tecnología:** Por razones de seguridad se usan baterías selladas, como las de gel o tecnología AGM (Absorbent Glass Mat).

El sistema de acumulación empleado es la batería electroquímica, cuyos vasos electroquímicos dispuestos como células de carga de electricidad se conectan en serie para formar los denominados acumuladores de 6, 12, 24 voltios u otros voltajes. Las baterías para aplicación en instalaciones fotovoltaica, eólica, microhidro, entre otras deben reunir especificaciones muy concretas de capacidad, ciclos de carga / descarga y autodescarga diferentes a otros usos, lo que ha determinado su elección hacia las de plomo-ácido, las cuales están compuestas por 2 electrodos inmersos en 1 electrolito de ácido sulfúrico diluido en agua. Tal electrolito puede estar en el recipiente en las formas de líquido o gel. La Figura 4.3 muestra la disposición básica de un vaso o célula de cuyo número en el acumulador depende el voltaje de salida.

Una aplicación práctica de este proceso es medir la concentración de ácido, para determinar el estado de carga, operación que requiere el empleo de un instrumento denominado densímetro [9]. La corriente de carga debe ser controlada para evitar el deterioro prematuro de la batería. Si la carga está próxima al 100 % y se mantiene la corriente, se produce una gasificación por exceso de oxígeno y los separadores de las celdas se oxidan, independientemente de otros efectos perjudiciales. Por tal motivo, es preciso reducir a lo mínimo la gasificación del electrolito, lo que se consigue disminuyendo la corriente de carga. En la práctica se aplica una tensión de carga de 2.38 V por vaso a una temperatura de 25 °C, que proporciona así un aceptable nivel de gasificación.

En cuanto a la descarga a través de los circuitos a alimentar, es preciso decir que esta situación da lugar a la formación de sulfato de plomo en ambos electrodos y que se absorbe ácido sulfúrico del electrolito, como se muestra en la Figura 4.3.

Figura 4.3. Representación del estado químico de una batería en plena carga y en descarga



Fuente [9]

En conjunto, el proceso de carga/descarga libera gases formados por hidrógeno y oxígeno, lo que desencadena en la necesidad de ventilar el habitáculo de las baterías. La mayoría de las baterías empleadas en instalaciones de energía renovable son del tipo plomo-ácido. La industria fabricante proporciona diferentes modelos constructivos con esa tecnología, que se adaptan a otras situaciones, especialmente en lo relativo al grado de gasificación y de protección ante roturas del envase. La tabla 4.1 (siguiente página) presenta los modelos significativos más comerciales.

Especificaciones eléctricas

Las baterías se caracterizan por un conjunto de especificaciones eléctricas con las que se indican sus condiciones de trabajo. Las principales son las siguientes:

* **Tensión:** Indicación de la tensión de trabajo, dado que cada vaso de las baterías proporciona 2 V; como están dispuestos en serie, su número corresponde al cociente entre la tensión de trabajo y la del vaso.

Tabla 4.1. Tipos de baterías más comerciales

Tipo de batería	Descripción
Ácido abierta	Modelo básico, con tapones de llenado para agua destilada, lo que constituye su característica diferenciadora.
Ácido selladas (herméticas)	Corresponden a las denominadas baterías estacionarias, sin mantenimiento (no es posible llenarlas con agua destilada). Producen pocos gases, por lo que se emplean en hábitáculos cerrados. Estas baterías pueden tener una vida más corta por la imposibilidad del mantenimiento.
Gel selladas (herméticas)	Baterías con imposibilidad de mantenimiento donde el ácido se ha gelificado, para evitar el derrame del ácido sulfúrico en caso de rotura del envase.
AGM selladas (herméticas)	Baterías sin mantenimiento donde el gel está en forma de masa esponjosa. Incorporan una válvula de protección. Estas baterías reciben la denominación VRLA (<i>Valve Regulated Lead Acid</i>). Su principal característica es que presentan una vida útil larga.

Fuente [10]

- * **Capacidad (Cx/Ah):** Parámetro que indica la carga que se puede extraer de la batería en un determinado número de horas, a la temperatura de 25 °C, hasta que la tensión en sus bornes alcance el valor de 1.85 V por vaso o elemento.
- * **Amperio hora (Ah):** Indica la cantidad de carga eléctrica que pasa por los terminales de una batería, si esta proporciona una corriente eléctrica de 1 amperio durante 1 hora.

Tabla 4.2. Capacidad para una batería comercial

	C_{100} [Ah]	C_{20} [Ah]	C_5 [Ah]
Capacidad nominal [CN]	65	60	50

C_{100} : Indica que es posible extraer 65 Ah en 100 h. Puedo extraer de la batería 0.65 A durante 100 h.

C_{20} : Puedo extraer de la batería 3 A durante 20 h.

C_5 : Puedo extraer 10 A durante 5 h.

- * Capacidad útil (CU): Parámetro que indica la capacidad disponible, que corresponde al producto de la capacidad nominal por la profundidad máxima de descarga permitida (PD máx.).

Ejemplo 4.1

Capacidad nominal = 65 Ah

PD máx. = 80 %

CU = 65 * 0.8 = 52 Ah

- * Estado de carga [SOC]

SOC = Capacidad actual de la batería / capacidad nominal

Ejemplo 4.2

CN = 65 Ah

Capacidad actual = 20 Ah

SOC = 20 / 65 = 0.307 ≈ 0.3

- * Profundidad de descarga [PD]

PD = Carga extraída / CN

Ejemplo 4.3

CN = 65 Ah

Carga extraída = 45 Ah

PD = 45 / 65 ≈ 0.7

- * Régimen de carga o descarga: Parámetro empleado para relacionar la capacidad nominal y la intensidad de corriente a la que se realiza la carga o la descarga de la batería.

Si una batería de 200 Ah se descarga en 25 h a una corriente de 8 A, se indica como:

$$C_{25} = 200 \text{ Ah}$$

$$I_{25} = 8 \text{ A}$$

- * Ciclos de vida: Indicación del fabricante sobre el número de veces que es posible cargar completamente la batería durante la vida útil. El número de ciclos de vida depende de la profundidad de descarga a la que trabaja la batería en el sistema.
- * Autodescarga: Este parámetro se refiere a la pérdida de energía que experimentan las baterías cuando están inactivas. Su valor depende del tipo de batería empleado y de la temperatura a la que está sometida; se indica generalmente en %/mes.

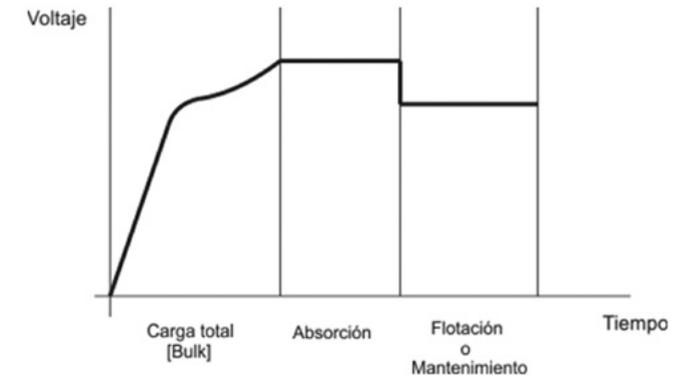
Regulador de carga

La tecnología de regular carga es similar (pero menos exigente) a la gobernación en un sistema de AC. Los sistemas de AC deben regular de forma precisa la velocidad a la cual rota el generador. Cuando las baterías están cargadas, un controlador diversor cambia a una carga secundaria.

En el proceso de regulación de carga se pueden dar 3 situaciones según la figura 4.4.

- * Carga total (Bulk): Recarga completa de las baterías en la primera etapa.
- * Absorción: Restaura la capacidad de las baterías como consecuencia del consumo producido.
- * Flotación: Cuando las baterías están completamente recargadas, el regulador pasa al modo flotante, estado en el que se mantiene mientras no se produzcan cambios significativos en el consumo.

Figura 4.4. Proceso de regulación de carga en una batería



Fuente: [Autor].

Pequeños sistemas de AC

Generar potencia de AC es más simple y más eficiente que generar AC, rectificar a DC, cargar baterías y usar inversor. Se debe tener en cuenta que a algunas personas les gusta la idea de tener energía almacenada. Otro factor que hace interesante la AC es que esta energía es generada a un mayor voltaje que la DC. Esto incrementa la eficiencia cuando se transmite potencia a grandes distancias.

La salida pico de un sistema pequeño de AC no es tan alta comparada con su promedio de salida. Es decir, este sistema no tiene buen desempeño para arranque de motores o cualquier actividad que requiera altos picos de potencia. Hasta la llegada del control de carga electrónico, la tecnología de gobernación podría ser la parte más costosa y problemática de un sistema microhídrico. Afortunadamente, para muchos tipos de carga (como la iluminación) no se requiere perfecta gobernación, y aún la baja potencia es útil. Sin embargo, los pequeños sistemas de AC se benefician de sistemas modernos de gobernación, tal como los controles de carga electrónicos. Lo anterior proporciona una salida con una frecuencia estable, lo cual incrementa su utilidad.

Ejercicios capítulo 4

4.1 Un sistema de generación de energía que generalmente no es intermitente es:

- a. Fotovoltaico
- b. Eólico
- c. Microgeneración hidráulica
- d. Marea

R / c.

4.2 El sistema microhídrico usualmente tiene sus baterías en estado:

- a. Cargado
- b. Descargado
- c. Descargado en un 50 %
- d. Cargado en un 50 %

R / a.

4.3 En un sistema microhídrico el elemento que evita que la batería se sobrecargue o se descargue en exceso se llama:

- a. Inversor
- b. Controlador diversor
- c. Shunt
- d. Rectificador

R / b.

4.4 El elemento que hace posible la conversión de DC en AC se llama:

- a. Inversor
- b. Rectificador

- c. Batería
- d. Transformador

R / a.

4.5 En una batería de plomo-ácido el electrolito tiene la más alta densidad cuando está:

- a. Cargada completamente
- b. Descargada
- c. Descargada en un 50 %
- d. Cargada en un 50 %

R / a.

4.6 En una batería completamente cargada la placa correspondiente al ánodo (placa positiva) está compuesta de:

- a. P_b
- b. P_bS
- c. P_bO_2
- d. H_2SO_4

R / c.

4.7 Cuando la batería se descarga en ambos electrodos hay formación de:

- a. Ácido sulfúrico
- b. Hidrógeno
- c. Sulfato de hierro
- d. Sulfato de plomo

R / d.

4.8 No es una turbina de impulso.

- a. Francis
- b. Turgo
- c. Pelton
- d. Flujo cruzado

R / a.

4.9 La turbina usada especialmente para bajo flujo y alta cabeza es:

- a. Kaplan
- b. Hélice
- c. Axial
- d. Pelton

R / d.

4.10 Un sistema microhídrico tiene un caudal de 50 gpm y una cabeza neta de 100 pies. La potencia de salida en *watts* estimada es:

- a. 566
- b. 766
- c. 1066
- d. 2066

R / a.

4.11 Un sistema microhídrico tiene un caudal de 50 gpm y una cabeza neta de 100 pies. La potencia disponible en *watts* estimada es:

- a. 343
- b. 743
- c. 1043
- d. 943

R / d.

4.12 Un sistema microhídrico tiene un caudal de 180 gpm y una potencia disponible de 2 kW; la cabeza neta estimada en pies es:

- a. 29
- b. 59
- c. 79
- d. 109

R / b.

4.13 En una batería de plomo-ácido el electrolito está compuesto de:

- a. Plomo + agua
- b. Ácido sulfúrico + plomo
- c. Ácido sulfúrico + H₂
- d. Ácido sulfúrico + agua

R / d.

4.14 Las baterías con la denominación VRLA tienen como principal característica:

- a. Los vasos son de 2 V
- b. Son de fácil mantenimiento
- c. Tienen una vida útil larga
- d. Se pueden conectar en serie

R / c.

4.15 Cada vaso electroquímico en una batería proporciona una tensión en voltios de:

- a. 0.5
- b. 2.0
- c. 6.0
- d. 12.0

R / b.

4.16 Una batería tiene una capacidad nominal de 100 Ah y una profundidad de máxima descarga de 80 %. La capacidad útil de la batería en Ah es:

- a. 80
- b. 120
- c. 60
- d. 200

R / a.

4.17 Una batería tiene una capacidad nominal de 200 Ah y una capacidad actual de 80 Ah. El estado de carga de la batería es:

- a. 0.80
- b. 0.20
- c. 0.40
- d. 0.60

R / c.

4.18 Una batería tiene una capacidad nominal de 200 Ah y se le ha extraído una carga de 120 Ah. La profundidad de descarga es:

- a. 0.80
- b. 0.20
- c. 0.40
- d. 0.60

R / d.

4.19 Una batería de 200 Ah se descarga en 20 h a una corriente en amperios de:

- a. 8
- b. 10

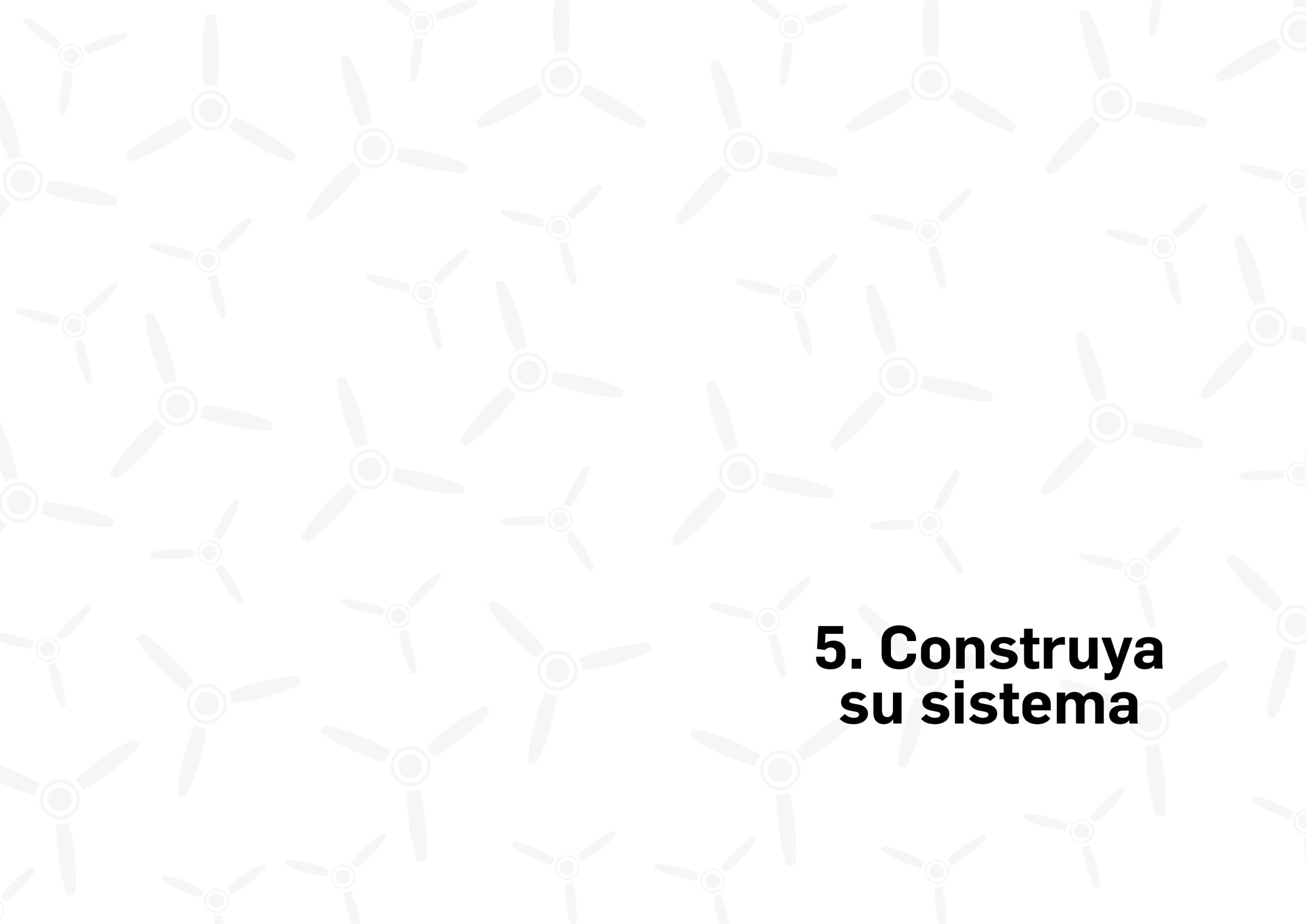
- c. 20
- d. 200

R / b.

4.20 La pérdida de energía que experimentan las baterías cuando están inactivas se conoce como:

- a. Régimen de carga
- b. Profundidad de descarga
- c. Ciclo de vida
- d. Autodescarga

R / d.

The background of the slide is a repeating pattern of stylized wind turbines. Each turbine is composed of a central hub with three blades extending outwards. The turbines are rendered in a light gray color and are scattered across the entire page, creating a subtle, textured effect.

5. Construya su sistema

Para realizar un sistema microhídrico se necesita específicamente:

- Por lo menos 2 gpm de flujo y una gran cabeza o una combinación que produzca una potencia práctica [$P_{\text{disponible}} > 100 \text{ W}$].

$$P_{\text{disponible}} [\text{W}] = Q [\text{gpm}] * H_n [\text{pies}] / 5.3$$

- La turbina y el alternador apropiados.
- Un cuarto de máquina para proteger la turbina de la intemperie.
- Una toma de agua (el agua debe ser filtrada antes de que entre al sistema de potencia).
- Una tubería forzada (es la parte más costosa y difícil de una instalación microhídrica).

En la tubería forzada se debe usar una válvula de aire, para prevenir el colapso de la tubería debido a que si la parte más alta de la tubería es bloqueada o se rompe la tubería del fondo, el agua saldrá y dejará un vacío. En otras palabras, la presión atmosférica, 14.7 psi, presiona la tubería y la puede colapsar; por lo tanto, siempre que se instale una válvula en la parte superior de la tubería forzada se debe instalar una válvula de aire.

El sistema de carga de batería necesita:

- Batería
- Controlador divisor y carga
- Inversor

Los grandes sistemas de AC constan de una turbina, un alternador y un controlador de carga.

Dimensionamiento de la tubería

El tamaño de la tubería está determinado por la longitud de la misma, el caudal óptimo y el presupuesto. Una tubería muy pequeña limitará la producción de potencia, una tubería muy grande tomará recursos que es mejor invertir en otra parte del sistema. Para cada combinación de longitud de tubería y flujo de agua se tendrá un ta-

maño de tubería que dará una pérdida de cabeza de aproximadamente 25 %. Esta es la tubería más económica y pequeña para usar en el sistema.

Equipo de instalación

La instalación de un sistema microhídrico puede resultar una obra civil. Se debe desviar agua de una fuente, remover el material particulado y entregar el agua a la turbina. En sistemas de alta cabeza la tubería forzada es frecuentemente enterrada por protección. El cuarto de máquinas necesita una plataforma firme que proteja los elementos y deje fluir el agua libremente.

En sistemas de baja cabeza el agua es entregada a la turbina a baja presión y la cabeza es desarrollada después de la turbina en el tubo de desfogue.

Después de generar electricidad, esta debe ser transmitida a donde es usada; las líneas de transmisión eléctrica pueden ser enterradas, lo cual es seguro y protege de accidentes. Las líneas de potencia también pueden ser aéreas, lo cual es seguro y económico si se hace correctamente. No se deben colocar conductores sobre la tierra, aun pequeñas potencias resultan peligrosas.

Tubería forzada

La tubería forzada es quizás la parte del sistema que requiere más trabajo. La tubería toma agua de la toma y la lleva a la turbina. El agua no es un gas, puesto que es virtualmente incompresible; reducir el tamaño de la tubería no incrementa la presión, solo genera pérdidas por fricción y pérdidas de potencia. Use el diámetro de tubería más grande que se pueda justificar financieramente.

Válvulas

Se necesita una válvula para sacar de servicio una turbina. Si se tiene un inyector, una válvula cerca del inyector será suficiente. Si se

instala una válvula en cada inyector, se puede tener una amplia variedad de flujos.

Manómetro

Cada sistema necesita un manómetro, el cual muestra su funcionamiento.

- Alta presión: Indica que hay, probablemente, un inyector obstruido. Se debe asegurar que el inyector pueda ser limpiado.
- Baja presión: Indica probablemente que no hay suficiente agua en la toma o que el inyector es muy grande para el agua disponible. Esta situación se evita colocando un inyector más pequeño.

Toma de agua

Cada sistema microhídrico tiene una toma, donde el agua entra a la tubería desde la fuente natural. Cualquier material particulado debe ser removido. Esto es fácil de decir, pero quizás no tan fácil de hacer. Las personas han obtenido agua de ríos y quebradas desde hace mucho tiempo y existe una gran experiencia al respecto.

La limpieza de la toma normalmente es el mantenimiento requerido. Hay un sistema de toma basado en el efecto Coanda, el cual es autolimpiante. Se puede consultar un artículo en la revista *Home Power* (junio/julio, 1999) sobre este tema.

Glosario

AC voltages

AC es usada cuando los voltajes son más altos, los tomacorrientes producen 120 V (en Colombia) y algunos elementos, como los secadores de ropa, usan 240 V.

Alternating current

Es el tipo de electricidad más comúnmente usada. Cambia su dirección con una determinada frecuencia y la gráfica de estos cambios es su forma de onda. Los sistemas microhídros pueden generar AC directamente, u obtener AC a partir de un subsistema batería/inversor.

Alternator

Genera corriente alterna (AC) a partir de un eje en rotación de una turbina o un motor de combustión.

Ampere

Los amperios son una unidad de corriente eléctrica. Si se compara la electricidad con el agua, los amperios miden el flujo de corriente y el flujo de agua se mide en galones por minuto.

Amp. = Volts / Ohms

Amp. = Watts / Volts

Batteries

Energía eléctrica almacenada. El sistema microhídros que usa baterías debe proporcionar la cantidad promedio de potencia necesaria, en lugar de picos de potencia.

Diferentes tecnologías de baterías:

- *Forklift battery*: Batería de ciclo profundo, grande y excelente, con una gran vida útil. Puede ser sobrevalorado para un sistema microhídros.

- *Golf cart battery*: Un tipo de batería de ciclo profundo, pequeña y económica. Es excelente para sistemas microhídros con batería.
- *RV battery*: Un compromiso entre una batería de arranque de motor y una de ciclo profundo no es recomendado para uso en microhídros o en general para energías renovables.
- *Belt drive*: La velocidad de la turbina debe acoplarse con la velocidad del alternador. Las turbinas son más eficientes a ciertas velocidades; la velocidad de rotación depende de la presión del agua. Usualmente las correas no son necesarias en sistemas de carga de baterías.

Capacitor start kit

También llamado *kit de arranque fácil*, reduce la potencia de arranque del motor considerablemente.

Controlador de carga

Protege las baterías de la sobrecarga.

Coanda

Una tecnología de separación de partículas en el agua, que puede ser autolimpiante.

Conductor

Cable de cobre o aluminio que transporta electricidad desde donde se genera hasta donde se usa.

Croosflow

Una turbina de impulso que puede ser fabricada con medios técnicos muy limitados.

Direct current (DC)

El tipo de electricidad que producen las baterías. A diferencia de AC, DC es directa y no tiene frecuencia ni forma de onda. Las linternas y las herramientas inalámbricas usan en general DC. El microhídrico frecuentemente genera DC y carga baterías.

DC charge control

Protege la batería de la sobrecarga en un sistema hidroeléctrico. Cuando el voltaje de la batería es bajo, se suministra corriente de la turbina hasta que la batería esté completamente cargada. Entonces el controlador de carga activa la carga secundaria hasta que el voltaje de la batería sea bajo nuevamente, de tal forma que no se sobrecargue.

DC voltages

Comúnmente más bajo que los 120 / 240 voltios de AC que suelen usarse. Los inversores son diseñados para trabajar con bancos de batería que son con frecuencia 12 V o 24 V, y algunas veces 48 V.

Deep cycle battery

Una batería capaz de repetir ciclos de descarga y recarga completa. Baterías de arranque de motores con estilo *float* o diseñadas para operar completamente cargadas la mayor parte del tiempo y ser recargadas inmediatamente. Estas baterías no son realmente diseñadas en ciclo profundo.

Diversion control

Control de carga de baterías en sistemas microhídrico aplicando una carga secundaria a las baterías para prevenir la sobrecarga. Esta característica puede ser usada con turbinas eólicas; normalmente no se usa con sistemas fotovoltaicos.

Francis

Una turbina de reacción muy parecida a una bomba centrífuga.

Generator

Genera DC a partir de un eje en rotación.

Governing

Mantiene el subsistema turbina AC / alternador rotando a la velocidad nominal con cambios de carga eléctrica.

Head

Distancia vertical desde el nivel del agua hasta la turbina.

$$H [\text{pies}] = P [\text{psi}] * 2.31$$

Las turbinas frecuentemente se describen por la cabeza que usan y no por la presión requerida.

High pressure

Puede indicar un inyector obstruido.

Híbrido system

Combina dos o más tecnologías para proporcionar el servicio. Un sistema híbrido fotovoltaico/microhídrico es muy práctico cuando la fuente de agua se seca en verano.

Impulse turbine

Una turbina, como la Turgo o la Pelton, donde el agua impacta el rotor bajo la presión del inyector. Contrasta con la turbina de reacción, como la tipo Francis o la *propeller*, en la cual el agua está en completo contacto hidráulico con el rotor.

Induction motor

Es el motor más común y pequeño, puede ser usado como un alternador sin escobillas y muy económico; sin embargo, se debe analizar el tema de la eficiencia y el control.

Intake

Es la toma de agua para la tubería forzada desde la fuente.

Inverter

Toma la DC (potencia de la batería) y la transforma en AC, el tipo de potencia que sale de los tomacorrientes caseros.

Jet

Chorro de agua que impacta el rotor de la turbina de impulso y sale del inyector.

Kilowatt [kW]

Unidad de potencia igual a 1000 *watts*.

Kilowatt hour (kWh)

Unidad de consumo de potencia usada por las empresas para el cobro del consumo eléctrico. Un kWh es equivalente al consumo de potencia de 1 kW en 1 h. Por ejemplo, si se usan 100 *watts* de una lámpara de luz por 10 h, se habrá usado 1 kWh.

Kilowatt hour per month (kWh/m)

Unidad que las empresas usan para el cobro del consumo de potencia. Es la cantidad de kWh usada en un mes.

Load control

En la terminología de gobernación de AC, la gobernación se alcanza a través de cargas secundarias, de tal forma que alguna carga está activa todo el tiempo. En la terminología de control de carga de DC, significa lo opuesto: las cargas son desactivadas, por ejemplo, cuando el voltaje de la batería es bajo.

Low head

Para sistemas de carga de baterías, es menor a 10 pies.

Low pressure

Puede indicar bajo caudal. Cuando está saliendo más agua que la que entra, la turbina no está completamente llena.

Manifold

Tubería necesaria para llevar agua a más de un inyector.

Microhidro electricity

Generación de electricidad a partir de pequeños alternadores accionados con agua.

Needle nozzle

Inyector variable. Adiciona ajustabilidad a un inyector simple desplazando un bulbo de especial forma redondeada para variar el área de la sección transversal y así el flujo a través de él.

Net head

Es la cabeza que queda cuando se le restan las pérdidas por fricción de la cabeza estática. Las pérdidas por fricción reducen la presión disponible en el fondo de la tubería y actúan como si se tuviera

un nivel más bajo de agua sobre el manómetro. La cabeza neta se encuentra calculando las pérdidas debido a la fricción o a un flujo dado, y restando de la cabeza estática. La cabeza neta óptima para la tubería dada es aproximadamente 3/4 de la cabeza estática.

Net pressure

La presión neta es la presión del agua que queda cuando el agua fluye por el sistema. Es menor que la presión estática debido a que la fricción del agua fluyendo por la tubería causa una pérdida de presión.

$$H_n [\text{pies}] = P_n [\text{psi}] * 2.31$$

Nozzle

El inyector impacta con el chorro de agua a una turbina de impulso. Múltiples inyectores de diferentes tamaños y con varios flujos pueden proporcionar alta eficiencia, abriendo y cerrando según se requiera.

Off-grid

Fuera del área de servicio de la red.

Ohm

Unidad de resistencia eléctrica.

Ohm = Volts / Amps

Pelton

Turbina de impulso original, desarrollada a finales del siglo XIX.

Penstock

Tubería que lleva el agua a la turbina.

Photovoltaic

Sistema en el cual se genera potencia directamente de la luz solar (también llamada PV]. Este sistema también es denominado *solar*, pero este uso puede causar confusión entre las tecnologías solar eléctrica y solar térmica.

Poly (polyethylene)

Un material de tubería excelente para microhidro en diámetros de hasta 2 pulgadas. Viene en rollos de 100 pies o más.

Propeller type turbine

Una turbina de reacción que opera a baja cabeza. Un ejemplo es la LH-1000.

PVC (polyvinyl chloride)

Un material de tubería común; rígido, liviano, fuerte y disponible. Viene en piezas de 10 y 20 pies, y en un rango de presiones. Entre más baja sea la presión nominal, más económica es la tubería.

Reaction turbine

El agua está en contacto hidráulico completo con la turbina. Ejemplos de turbinas de reacción son la tipo *propeller* de baja cabeza, como la LH-1000, y la turbina Francis, que se usa comúnmente en grandes aplicaciones hidroeléctricas.

Rectifier

Cambia de AC a DC y hace que la corriente fluya en una sola dirección.

Single phase AC

El tipo de electricidad más común, usando dos conductores.

Small hydro

Categoría de la potencia hidráulica que algunas veces es confundida con microhídrido. Se refiere a sitios que son de tamaño inmediatamente superior al microhídrido, de más de 100 kW hasta 1 MW. *Pequeñas hidro* se refiere a sitios que podrían dar energía a una ciudad.

Static head

Distancia vertical desde la turbina hasta el nivel de agua de la toma. Las turbinas son comúnmente nominadas por este factor. Por ejemplo, la turbina LH-1000 requiere 10 pies de cabeza.

Static pressure

La presión que hay en un sistema cuando el fluido no está fluyendo. Es diferente a la presión neta, que se presenta cuando el fluido está en movimiento y hay una pérdida de presión debido a la fricción. Se debe tener en cuenta que la presión estática es producida por la cabeza estática, que es la distancia vertical desde la toma hasta la turbina.

$$P_{est.} [\text{psi}] = H_{est.} [\text{pies}] / 2.31$$

Tailrace

Donde el agua sale de la turbina.

Three phase AC

Una forma de AC que es muy eficiente. La AC de 3 fases usa 3 conductores, mientras que en las residencias de simple fase de AC son usados solo dos conductores. Las 3 fases de AC a alto voltaje son usadas para generar y transmitir potencia microhídrido a larga distancia.

Transformer

Cambia AC de un voltaje a otro para reducir las pérdidas en la transmisión.

Triac

Un aparato *switching* electrónico, similar en acción a un *dimmer*, que es usado en la tecnología de control de carga electrónico para el control fino de la frecuencia.

Turbine

Es una máquina que convierte la energía hidráulica en energía mecánica, con un eje en rotación; el eje acciona un alternador, que es una máquina que convierte la energía mecánica en energía eléctrica.

Turgo

Es una turbina de impulso. Puede usar inyectores más grandes que la Pelton y fue desarrollada en los años próximos a 1920.

Vacuum breaker

Permite que el aire entre a la tubería en caso de emergencia. Esto es necesario debido a que si ocurre un accidente en el que toda el agua sale por el fondo de la tubería forzada, el vacío resultante puede colapsar la tubería. Una válvula de aire permite que entre aire por la parte superior de la tubería para prevenir daños.

Valve

Activa, desactiva o regula el flujo de agua.

Volt

Unidad de potencial eléctrico. Los carros usan sistemas de 12 V DC. En Colombia se usan 120 V AC como estándar de los tomacorrientes.

$$\text{Volt} = \text{Watts} / \text{Amp}$$

$$\text{Volt} = \text{Amp} * \text{Ohms}$$



Voltage loss

Pérdidas debido a la resistencia eléctrica y al flujo de corriente.

Watt

Unidad de potencia eléctrica.

Watts = Volts * Amps

Un bulbo de luz eficiente puede usar de 16 a 25 *watts*, mientras que uno incandescente usa entre 60 y 100 *watts*.



Organizaciones y *websites*

- * www.solarenergy.org
- * www.smallhydropower.com
- * www.otherpower.com

Artículos hechos en casa que incluyen turbinas microhídros

- * www.microhydropower.net
- * www.picoturbine.com

Proveedores

- * www.microhydropower.com
- * www.powerpal.com
- * www.waterturbine.com
- * www.spsenergy.com
- * www.canyonindustriesinc.com

Fabricantes de turbinas

- * www.dtlhydro.com
- * www.realgoods.com (buen lugar para conseguir toda clase de equipos, incluyendo turbinas)

Publicaciones

- * www.homepower.com
- * www.canren.gc.ca
- * www.cat.org.uk

The background of the image features a repeating pattern of stylized wind turbines. Each turbine is composed of a central hub with three blades extending outwards. The turbines are rendered in a light gray color and are scattered across the white background, creating a subtle, textured effect.

Anexos

Anexo 1

Factores de conversión

Masa Unidad estándar del SI: Kilogramo (Kg)

$$\frac{14.59 \text{ Kg}}{\text{slug}} \quad \frac{32.174 \text{ lb}_m}{\text{slug}} \quad \frac{2.205 \text{ lb}_m}{\text{Kg}} \quad \frac{453.6 \text{ gramos}}{\text{lb}_m} \quad \frac{2000 \text{ lb}_m}{\text{ton}_m} \quad \frac{1000 \text{ Kg}}{\text{tonelada métrica}}$$

Fuerza Unidad estándar del SI: Newton (N)

$$\frac{4.448 \text{ N}}{\text{lb}_f} \quad \frac{10^5 \text{ dinas}}{\text{N}} \quad \frac{4.448 * 10^5 \text{ dinas}}{\text{lb}_f} \quad \frac{224.8 \text{ lb}_f}{\text{KN}}$$

Longitud

$$\frac{3.281 \text{ pies}}{\text{m}} \quad \frac{39.37 \text{ pulg}}{\text{m}} \quad \frac{12 \text{ pulg}}{\text{pies}} \quad \frac{1.609 \text{ Km}}{\text{mi}} \quad \frac{5280 \text{ pies}}{\text{mi}} \quad \frac{6076 \text{ pies}}{\text{milla náutica}}$$

Área

$$\frac{144 \text{ pulg}^2}{\text{pies}^2} \quad \frac{10.76 \text{ pies}^2}{\text{m}^2} \quad \frac{645.2 \text{ mm}^2}{\text{pulg}^2} \quad \frac{10^6 \text{ mm}^2}{\text{m}^2} \quad \frac{43.560 \text{ pies}^2}{\text{acre}} \quad \frac{10^4 \text{ m}^2}{\text{hectárea}}$$

Volumen

$$\frac{1728 \text{ pulg}^3}{\text{pies}^3} \quad \frac{231 \text{ pulg}^3}{\text{gal}} \quad \frac{7.48 \text{ gal}}{\text{pies}^3} \quad \frac{264.2 \text{ gal}}{\text{m}^3} \quad \frac{3.875 \text{ L}}{\text{gal}} \quad \frac{35.31 \text{ pies}^3}{\text{m}^3}$$

$$\frac{28.32 \text{ L}}{\text{pies}^3} \quad \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} \quad \frac{61.02 \text{ pulg}^3}{\text{L}} \quad \frac{1000 \text{ cm}^3}{\text{L}} \quad \frac{1.201 \text{ U.S gal}}{\text{galón imperial}}$$

Flujo volumétrico

$$\frac{449 \text{ gal/min}}{\text{pies}^3/\text{s}} \quad \frac{35.31 \text{ pies}^3/\text{s}}{\text{m}^3/\text{s}} \quad \frac{15850 \text{ gal/min}}{\text{m}^3/\text{s}} \quad \frac{3.785 \text{ L/min}}{\text{gal/min}}$$

Densidad (masa / unidad de volumen)

$$\frac{60000 \text{ L/min}}{\text{m}^3/\text{s}} \quad \frac{2119 \text{ pies}^3/\text{min}}{\text{m}^3/\text{s}} \quad \frac{16.67 \text{ L/min}}{\text{m}^3/\text{h}} \quad \frac{101.9 \text{ m}^3/\text{h}}{\text{pies}^3/\text{s}}$$

Peso específico (peso / unidad de volumen)

$$\frac{157.1 \text{ N/m}^3}{\text{lb}_f/\text{pies}^3} \quad \frac{1728 \text{ lb/pies}^3}{\text{lb/pulg}^3}$$

Presión Unidad estándar del SI: pascal (Pa)

$$\frac{144 \text{ lb/pies}^2}{\text{lb/pulg}^2} \quad \frac{47.88 \text{ Pa}}{\text{lb/pies}^2} \quad \frac{6895 \text{ Pa}}{\text{lb/pulg}^2} \quad \frac{1 \text{ Pa}}{\text{N/m}^2} \quad \frac{100 \text{ kPa}}{\text{bar}} \quad \frac{14.50 \text{ lb/pulg}^2}{\text{bar}}$$

$$\frac{27.68 \text{ pulgH}_2\text{O}}{\text{lb/pulg}^2} \quad \frac{249.1 \text{ Pa}}{\text{pulgH}_2\text{O}} \quad \frac{2.036 \text{ pulgHg}}{\text{lb/pulg}^2} \quad \frac{3386 \text{ Pa}}{\text{pulgHg}} \quad \frac{133.3 \text{ Pa}}{\text{mmHg}} \quad \frac{51.71 \text{ mmHg}}{\text{lb/pulg}^2}$$

$$\frac{14.696 \text{ lb/pulg}^2}{\text{atm. estándar}} \quad \frac{101.325 \text{ kPa}}{\text{atm. estándar}} \quad \frac{29.92 \text{ pulgHg}}{\text{atm. estándar}} \quad \frac{760.1 \text{ mmHg}}{\text{atm. estándar}}$$

Energía Unidad estándar del SI: joule (J)

$$\frac{1.356 \text{ J}}{\text{lb} - \text{pies}} \quad \frac{1.0 \text{ J}}{\text{N} * \text{m}} \quad \frac{8.85 \text{ lb} - \text{pulg}}{\text{J}} \quad \frac{1.055 \text{ kJ}}{\text{Btu}} \quad \frac{3.600 \text{ kJ}}{\text{W} * \text{h}} \quad \frac{778.17 \text{ pie} - \text{lb}}{\text{Btu}}$$

Potencia

$$\frac{745.7 \text{ W}}{\text{hp}} \quad \frac{1.0 \text{ W}}{\text{N} \cdot \text{m/s}} \quad \frac{550 \text{ lb} \cdot \text{pies/s}}{\text{hp}} \quad \frac{1.356 \text{ W}}{\text{lb} - \text{pies/s}} \quad \frac{3.412 \text{ Btu/h}}{\text{W}} \quad \frac{1.341 \text{ hp}}{\text{kW}}$$

Viscosidad dinámica

$$\frac{47.88 \text{ Pa} \cdot \text{s}}{\text{lb} \cdot \text{s} / \text{pies}^2} \quad \frac{10 \text{ poise}}{\text{Pa} \cdot \text{s}} \quad \frac{1000 \text{ cP}}{\text{Pa} \cdot \text{s}} \quad \frac{100 \text{ cP}}{\text{poise}}$$

Viscosidad cinemática

$$\frac{10.764 \text{ pies}^2/\text{s}}{\text{m}^2/\text{s}} \quad \frac{10^4 \text{ stoke}}{\text{m}^2/\text{s}} \quad \frac{10^6 \text{ cSt}}{\text{m}^2/\text{s}} \quad \frac{100 \text{ cSt}}{\text{stoke}} \quad \frac{1 \text{ cSt}}{1 \text{ mm}^2/\text{s}} \quad \frac{10^6 \text{ mm}^2/\text{s}}{\text{m}^2/\text{s}}$$

Temperatura

$$\begin{aligned} T_c &= (T_F - 32)/1.8 \\ T_F &= 1.8 T_c + 32 \\ T_K &= T_c + 273.15 \\ T_R &= T_F + 459.67 \\ T_{k=} &= (T_F + 459.67)/1.8 = T_R / 1.8 \end{aligned}$$

Anexo 2

Presiones atmosféricas de las capitales de Colombia

Componentes	Altura sobre el nivel del mar (m)	Presión atmosférica	
		mmHg	inHg
Arauca	119	749	29.50
Armenia	1551	640	24.81
Barranquilla	30	757	29.81
Bogotá D. C.	2640	560	21.67
Bucaramanga	959	680	26.67
Cali	995	670	26.56
Cartagena de Indias	0	760	29.92
Cúcuta	320	720	28.80
Florencia	242	738	29.07
Ibagué	1285	651	25.64
Leticia	96	751	29.58
Manizales	2160	585	23.01
Medellín	1538	640	24.85
Mitú	200	742	29.22
Mocoa	590	708	27.89
Montería	18	758	29.86
Neiva	442	721	28.39
Pereira	1411	637	25.24
Popayán	1760	600	24.18
Puerto Carreño	51	755	29.74
Puerto Inírida	95	747	29.59
Quibdó	43	756	29.77
Riohacha	0	760	29.92
San Andrés	0	760	29.92
San José de Guaviare	175	744	29.31

San Juan de Pasto	2527	564	21.98
Santa Marta	3	760	29.91
Sincelejo	213	741	29.17
Tunja	2810	550	21.21
Valledupar	169	745	29.33
Villavicencio	467	719	28.30
Yopal	350	729	28.70

Fuente [10]

Anexo 3

Pérdida de cabeza por fricción en tubería de polietileno
(En feet de cabeza por cad 100 feet)
Diámetro de la tubería

g.p.m.	1 pulg.	1.25 pulg.	1.5 pulg.	2 pulg.	3 pulg.
3	0.9	0.3	0.1		
4	1.5	0.5	0.2	0.1	
5	2.2	0.7	0.3	0.1	
10	8.0	2.7	1.1	0.3	
15	17.6	5.7	2.4	0.6	0.1
20	28.9	9.7	4.0	1.0	0.2
30	61.2	20.6	8.5	2.1	0.3
40		35.1	14.5	3.6	0.6
50		53.1	30.6	5.4	0.7
60		74.4	40.7	7.5	1.0
70		98.9	52.1	10.0	1.4
80			64.8	12.8	1.8
90			78.7	16.0	2.22
100				19.4	2.7
150				41.1	5.7
200				69.9	9.7
250					14.7
300					20.6
400					35.0
500					52.9

Fuente [1]

Anexo 4

Pérdida de cabeza por fricción en tubería de polietileno
(En feet de cabeza por cad 100 feet)
Diámetro de la tubería en pulgadas

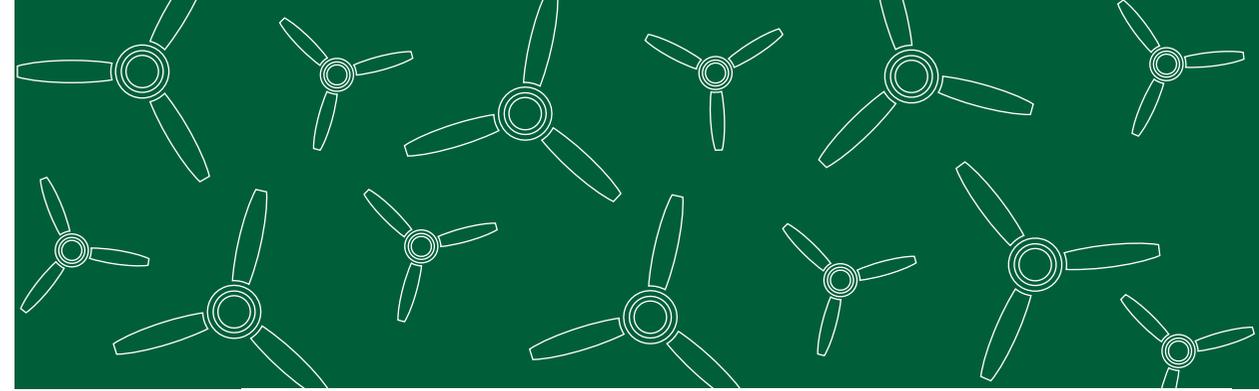
g.p.m.	1	1.25	1.5	2	3	4	5	6	8
3	1.0	0.3	0.1						
4	1.7	0.6	0.2	0.1					
5	2.5	0.9	0.4	0.1					
10	9.2	3.1	1.3	0.3					
15	19.5	6.6	2.7	0.7	0.1				
20	33.1	11.2	4.6	1.1	0.2				
30	70.1	23.7	9.7	2.4	0.3	0.1			
40		40.3	16.6	4.1	0.6	0.1			
50		60.9	25.1	6.2	0.9	0.2	0.1		
60		85.3	35.1	8.6	1.2	0.3	0.1		
70			46.7	11.5	1.6	0.4	0.1	0.1	
80			59.8	14.7	2.0	0.5	0.2	0.1	
90			74.3	18.3	2.5	0.6	0.2	0.1	
100			90.3	22.2	3.1	0.8	0.3	0.1	
150				47.1	6.5	1.6	0.5	0.2	0.1
200				80.2	11.1	2.7	0.9	0.4	0.1
250					16.8	4.1	1.4	0.6	0.1
300					23.6	5.8	2.0	0.8	0.2
400					40.1	9.9	3.3	1.4	0.3
500					60.7	14.9	5.0	2.1	0.5

Fuente [1]

Bibliografía

- [1] Davis S. Microhydro, Gabriola Island: New Society Publishers; 2003.
- [2] Woofenden I. Back page basics. Home Power. 2012;150:120.
- [3] Cunningham P. Microhydro-electric systems. Home Power. 2007;117: 40-45.
- [4] Butler R. Grid-direct wind sytems. Home Power. 2008;126: 53.
- [5] Davidson K. Hillside harmony in oregon. Home Power. 2008;123: 58-63.
- [6] Smith G. Watts in the wind. Home Power. 2007;118: 60-64.
- [7] Eisenring M. Micro pelton turbines, St. Gallen: Gate and Skat within Mhpg; 1991.
- [8] Eastop T, McConkey A. Turbines [Internet]. Otherpower. Recuperado a partir de: <http://www.otherpower.com>.
- [9] Riu A. Tratado práctico de acumuladores eléctricos, Mexico: Mc Graw Hill; 1958.
- [10] Hicks T. Energías renovables, New York: Mc Graw Hill Book Co.; 1957.
- [9] Mataix C. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas, México D. F.: Ed. Oxford; 1982.
- [10] Eslava JA. Régimen de la presión atmosférica en Colombia, Bogotá: Guadalupe Ltda.; 1995.
- [11] Mc Naughton K. Bombas. Selección, uso y mantenimiento, México D. F.: Mc Graw Hill; 1989.
- [12] Fox R. Mc Donald T. Introduction to fluid mechanics, New York: Mc Graw Hill; 2003.
- [13] Frankel, M. Piping systems handbook, New York: Mc Graw Hill; 2002.
- [14] Streeter V, Wylie B, Bedford K. Fluid mechanics, New York: Mc Graw Hill; 1987.
- [15] Rogers, G. Thermodynamic and transport properties of fluids, Oxford: Blackwell Publishing; 1995.
- [16] Daugherty R. Hidraulic turbines, New York: Mc Graw Hill; 1920.

 Universidad Pontificia Bolivariana	SU OPINIÓN	
<p>Para la Editorial UPB es muy importante ofrecerle un excelente producto. La información que nos suministre acerca de la calidad de nuestras publicaciones será muy valiosa en el proceso de mejoramiento que realizamos.</p> <p>Para darnos su opinión, comuníquese a través de la línea (57)(4) 354 4565 o vía correo electrónico a editorial@upb.edu.co</p> <p>Por favor adjunte datos como el título y la fecha de publicación, su nombre, correo electrónico y número telefónico.</p>		



Microhidrogeneración es un libro práctico que cubre los principios de la generación hidráulica al nivel de baja potencia. En el capítulo 1 se realiza una introducción sobre la microhidrogeneración y los diferentes sistemas microhidro tales como: los sistemas conectados a la red [Grid-tie] y sistemas independientes [Off-grid]. El capítulo 2 trata sobre la aplicación y dimensionamiento de las turbinas en especial la turbina Pelton. En el capítulo 3 se realiza una comparación de las diferentes tecnologías alternativas de generación eléctrica tales como: la energía solar-fotovoltaica, eólica e hidráulica, entre otras. En este mismo capítulo se estudia el dimensionamiento de la tubería forzada a través de ejemplos prácticos. Los capítulos 4 y 5 estudian, de forma independiente, los elementos que intervienen en el sistema de microgeneración eléctrica tales como: la turbina, el alternador, la batería, entre otros. Al final del libro se presenta un glosario de términos con sus respectivos significados. Este texto tiene la particularidad de realizar ejercicios de retroalimentación al final de cada capítulo, también incluye websites y proveedores de elementos de sistemas de microhidrogeneración.

Esta obra se publicó en archivo digital en el mes de julio de 2020.

