GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PEQUEÑA ESCALA CON ENERGÍA HIDRÁULICA

Manual para Instructores

Centro de Conservación de Energía y del Ambiente
CENERGIA

Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial
SENATI

Energía y Medio Ambiente
ECOFYS
Utrecht – Holanda

GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PEQUEÑA ESCALA CON ENERGÍA HIDRÁULICA

Manual para Instructores

GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PEQUEÑA ESCALA CON ENERGÍA HIDRÁULICA

Manual para Instructores

SENATI
CENERGIA
ECOFYS
Utrecht/Lima 1999

Este manual ha sido elaborado por:

Ing. Carlos Orbegozo (CENERGIA)

Manual publicado por:

ECOFYS

Energía y Ambiente

Kanaalweg 16-G
3526 KL Utrecht
Holanda

CENERGIA

Centro de Conservación de Energía y del Ambiente

Calle Deraín 198
San Borja – Lima 41
Perú

Todos los derechos reservados. Prohibida su reproducción parcial o total por impresión, fotografía, microfilm o por cualquier otro medio, sin autorización escrita de los editores.

Esta publicación ha sido posible gracias al aporte económico de la ***Fundación Hulsebosch Prior***, Holanda.

La información contenida en esta publicación ha sido recopilada con el mayor cuidado en cuanto a su legitimidad. Sin embargo, tanto los editores como los autores quedan exentos de toda responsabilidad legal por cualquier daño o perjuicio producido como consecuencia de la aplicación de los métodos en ella descritos.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN PARA LOS INSTRUCTORES 9

1. ANTECEDENTES 9

2. OBJETIVOS DEL PROGRAMA DE CAPACITACIÓN 10

3. CONTENIDO DEL PROGRAMA DE CAPACITACIÓN 10

4. GRUPOS OBJETIVO 11

5. ADAPTACIÓN DEL CURSO A OTRAS CIRCUNSTANCIAS 11

6. REGLAS BÁSICAS 12

MÓDULO 4: ENERGÍA HIDRÁULICA 13

PARTE 1: *TEORÍA DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA* 14

DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO 14

EJERCICIOS Y RESPUESTAS 16

PARTE 2: *PRÁCTICA DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA* 22

DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO 22

EQUIPO NECESARIO 23

EJERCICIOS 24

INTRODUCCIÓN PARA LOS INSTRUCTORES

1. ANTECEDENTES

El empleo de pequeñas centrales hidroeléctricas en el área rural peruana se remonta a principios de siglo. Los principales usuarios eran las haciendas ubicadas tanto en la sierra como en la selva alta, y la fabricación de los equipos necesarios estaban generalmente a cargo de pequeños talleres. Hay indicios de que el número de microcentrales hidroeléctricas (MCH) instaladas de esta manera fue significativo, y es posible apreciar todavía algunas de ellas.

A lo largo del tiempo y por diversos motivos, entre ellos la falta de información entre los conocedores de la tecnología, parte de esta experiencia se perdió, y paulatinamente la producción local de estas máquinas fue disminuyendo.

Sin embargo, en los últimos años algunas personas o instituciones están tratando de desarrollar en forma más o menos aislada nuevos equipos, sistemas de control y mejorando los diseños existentes de turbinas hidráulicas. Una preocupación que aparece en la mayoría de los trabajos es la reducción de los costos, sobre todo, mediante la utilización de materiales disponibles en el país y el empleo de diseños que simplifiquen el proceso de fabricación. Una alternativa es por ejemplo la adaptación de equipos existentes de fabricación nacional para ser utilizados en MCHs.

Este proyecto pretende propulsar la aplicación de MCHs en las áreas rurales, incorporando cursos de energías renovables a la actual currícula de las escuelas técnicas del SENATI en el Perú. A lo largo de su educación regular, los futuros instaladores eléctricos y demás técnicos recibirán capacitación sobre cómo instalar y dar mantenimiento a los sistemas de energías renovables. Este hecho presenta dos beneficios directos: en primer lugar, se incrementa la toma de conciencia acerca de las posibilidades de las energías renovables en aquellas personas que toman las decisiones acerca del uso de la energía a un nivel micro. En segundo lugar, se incrementa considerablemente el número de técnicos instaladores competentes, de modo que disminuye la necesidad de proyectos de capacitación adicional.

Se han diseñado 4 módulos distintos para las escuelas técnicas del SENATI, en los que se desarrolla la teoría y la práctica de los siguientes módulos:

Módulo 1: Generación de electricidad a pequeña escala con energía solar fotovoltaica;
Módulo 2: Calentamiento de agua mediante el uso de termas solares;
Módulo 3: Generación de electricidad a pequeña escala con energía eólica;
Módulo 4: Generación de electricidad a pequeña escala con energía hidráulica.

Los cursos han sido diseñados para ser aplicados en las 4 escuelas de nivel intermedio del SENATI en Lima, Trujillo, Arequipa y Chiclayo, y están integrados a la currícula de Electrónica Industrial (EI), Electrotecnia (ET) y Metalmecánica (MM).

El siguiente cuadro presenta el tiempo que requiere el desarrollo de cada módulo, en cada una de la currícula:

Módulo	Electrónica		Electrotecnia		Mecánica	
	Teoría	Práctica	Teoría	Práctica	Teoría	Práctica
1. Fotovolaica	14	22	14	22	8	0
2. Solar Térmica	8	0	8	0	14	33
3. Energía Eólica	14	22	14	22	8	0
4. Energía Hidráulica	8	0	8	0	14	33
Total	44	44	44	44	44	66

2. OBJETIVOS DEL PROGRAMA DE CAPACITACIÓN

El objetivo a corto plazo es desarrollar la capacidad técnica de electricistas, instaladores y demás técnicos para instalar, reparar y dar mantenimiento a sistemas de energías renovables.

Al finalizar este módulo acerca de la teoría y práctica de la Energía Hidráulica a pequeña escala, los estudiantes habrán adquirido:

- Conocimiento de los fundamentos físicos de la hidráulica y de las posibilidades y restricciones de la generación de electricidad a pequeña escala con energía hidráulica.
- Conocimiento teórico detallado de los usos de la energía hidráulica y la tecnología actual, la cual se comercializa, para permitir el uso de las fuentes de energía hidráulica.
- Habilidad para diseñar una microcentral hidroeléctrica, basado en los requerimientos de los usuarios finales, incluyendo la realización de cálculos de costo.
- Habilidad para utilizar los aparatos de medición de recursos hídricos y de medición eléctrica.
- Habilidad para instalar una microcentral hidroeléctrica o de bombeo.
- Habilidad para dar mantenimiento a una microcentral hidroeléctrica.

3. CONTENIDO DEL PROGRAMA DE CAPACITACIÓN

El módulo de Energía Hidráulica consta a su vez de dos módulos, que se desarrollan en alrededor de 36 (MM) ú 8 (EI, ET) horas:

Teoría : MM 14 horas, EI, ET 8 horas
Práctica : MM 33 horas, EI, ET 0 horas

Parte 1: Teoría de la energía hidráulica

La primera parte del módulo hidráulico dura 14 (MM) u 8 (EI, ET) horas, y está dedicada a la teoría de la tecnología hidráulica. Los estudiantes aprenderán acerca de las fórmulas básicas de la aplicación hidráulica, la fuente de energía hidráulica (el agua), los componentes

y cómo diseñar un sistema hidráulico, y por qué es importante tomar en cuenta el entorno cuando se busca un lugar para instalar un sistema hidráulico.

Parte 2: Práctica de la energía hidráulica

La segunda parte del módulo hidráulico dura 33 (MM) ó 0 (EI, ET) horas y toca los ejercicios teóricos y prácticos de la energía hidráulica. Los estudiantes aprenderán cómo instalar, dar mantenimiento y reparar un sistema hidráulico. También tocará el punto referente a la detección de fallas del sistema hidráulico y cómo solucionar los problemas presentados.

El manual para estudiantes desarrolla los puntos más importantes del aspecto teórico y técnico de la tecnología hidráulico. Por lo tanto, cada instructor deberá estudiar dicho manual y utilizarlo como material de consulta. Asimismo, cada instructor determinará cuál es el método de enseñanza más efectivo, basándose en sus propias habilidades y experiencia en capacitación.

El manual para estudiantes incluye algunos ejercicios a modo de tarea. Todas las repuestas figuran en el manual para instructores.

4. GRUPOS OBJETIVO

Instructores
El manual para instructores está dirigido a los profesores que enseñan el contenido de los distinto módulos en las escuelas técnicas del SENATI.

Estudiantes
El grupo objetivo de los módulos de capacitación está conformado por los estudiantes de las escuelas técnicas de nivel intermedio del SENATI. Los módulos de capacitación han sido diseñados especialmente para la currícula de Electrónica Industrial, Electrotecnia y Metalmecánica.

5. ADAPTACIÓN DEL CURSO A OTRAS CIRCUNSTANCIAS

Este curso de capacitación ha sido desarrollado para el Perú y, en particular para las escuelas técnicas del SENATI. Sin embargo, con la conformidad de ECOFYS, podría ser utilizado en otras escuelas, países o estados, pero probablemente sería necesario adaptarlo a las circunstancias locales. La capacitación en sí dependerá del mercado local de Técnicos en Energías Renovables, de las necesidades de capacitación de los participantes, de los programas de capacitación existentes en las escuelas técnicas, y de los medios con los que cuente el instructor. Este manual no debe ser considerado una fuente infalible de respuestas, sino un conjunto de sugerencias e ideas que deberán ser adaptadas, modificadas, utilizadas y quizás rechazadas Según su análisis. La mejor prueba de que el material está siendo utilizado apropiadamente será la cantidad de cambios, adiciones y modificaciones que realice cada instructor. No piense que el material requiere sólo unos minutos de preparación; Ud. deberá revisar a conciencia los pasos a seguir, antes de dirigir cualquier curso basado parcial o totalmente en este material.

6. REGLAS BÁSICAS

Las reglas más importantes para el dictado del presente curso de capacitación son las siguientes:

1. Utilice un lenguaje simple, incluso vernacular, haciendo uso frecuente de símbolos (dibujos, por ejemplo), ya que no todos los participantes poseen un alto nivel de educación o nociones técnicas. No utilice conceptos demasiado abstractos.
2. La disposición de las sillas deberá permitir que los participantes se vean el uno al otro. Retire las mesas para permitir una participación activa.
3. Asegúrese de que cada estudiante haya comprendido claramente la estructura de la sesión. Al inicio de cada sesión, haga un esquema de la misma, y al final, haga un resumen de lo acontecido en ella.
4. Sea flexible y responda a las preguntas, observaciones y sugerencias de los participantes.
5. Permita la interacción y evite hablar demasiado.
6. Nunca ridiculice una respuesta o una sugerencia de un participante.
7. Anote las respuestas de los participantes en la pizarra y parafraséelas con el fin de facilitar una comunicación efectiva.
8. Asegúrese de que todos los participantes sigan el desarrollo de la clase.
9. Sea dinámico, ameno y activo.

MÓDULO 4: ENERGÍA HIDRÁULICA

Objetivos: Al final de este módulo los participantes podrán:

- Comprender los fundamentos físicos de la energía hidráulica
- Conocer las principales aplicaciones de la energía hidráulica
- Manejar los instrumentos de medición hídricos y de medición eléctrica
- Tener un entendimiento básico de las posibilidades y restricciones de la tecnología hidráulica
- Tener un conocimiento básico del funcionamiento de un sistema hidráulico y sus componentes
- Ser capaces de determinar los requerimientos del usuario y estimar la demanda de electricidad
- Ser capaces de diseñar y dimensionar un sistema hidráulico
- Ser capaces de instalar un sistema hidráulico
- Realizar una inspección al término incluyendo mediciones del funcionamiento del sistema
- Ser capaces de mantener y reparar un sistema hidráulico.

Duración:

Teoría	14 horas (MM) u 8 horas (EI, ET)
Práctica	33 horas (MM) ó 0 horas (EI, ET)

Materiales: Pico turbina Pelton de 24 W, 12 V CC
Generador de corriente continua (motor eléctrico de 12 V)
Tuberías de PVC de ½ "
Uniones de 45° ó 90°, Según el ángulo usado
Abrazaderas de ½ "
Cables eléctricos de 10 mm de diámetro
Manómetros
Multímetros

PARTE 1: *TEORÍA DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA*

DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO

CAPÍTULO	Duración [min]	
	MM	EI, ET
1. LA GENERACIÓN ELÉCTRICA POR ENERGÍA HIDRAÚLICA	**30**	**20**
1.1. Introducción	5	5
1.2. Aplicaciones	5	5
1.3. Potencial y clasificación de las centrales hidroeléctricas	10	5
1.4. ⇒ Tipos de instalaciones de microcentrales hidroeléctrica (MCH)	10	5
2. APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HIDRÁULICO	**70**	**50**
2.1. Introducción	0	0
2.2. Unidades	10	10
2.3. ⇒ Principios generales	60	40
2.3.1. Principio físico de la ecuación de potencia		
2.3.2. Energía		
2.3.3. Diagrama de carga		
2.3.4. Factor de planta		
2.3.5. Factor de carga		
3. COMPONENTES DE UNA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA	**200**	**120**
3.1. Sistemas de transmisión	20	20
3.1.1. Conceptos sobre la transmisión		
3.2. ⇒ Turbinas hidráulicas	90	60
3.2.1. Clasificación de las turbinas hidráulicas		
3.2.2. ¿Cómo funciona una turbina hidráulica?		
3.2.3. Determinación de la potencia de la turbina		
3.2.4. Determinación del salto neto		
3.2.5. Selección rápida de la turbina		
3.2.6. Turbinas hidráulicas de impulso		
3.2.7. Turbinas hidráulicas de reacción		
3.2.8. Dimensionamiento básico de la turbina Pelton		
3.2.9. Dimensionamiento básico de la turbina Michell – Banki		
3.2.10. Dimensionamiento básico de la turbina Francis		
3.3. ⇒ Generadores eléctricos		
3.3.1. Características de los generadores	30	10
3.3.2. Generador de corriente alterna síncrono		
3.3.3. Generadores de inducción o asíncronos (motores como generadores)		
3.4. ⇒ Obras civiles		
3.4.1. La bocatoma	60	30
3.4.2. El baraje de derivación y la presa		
3.4.3. Los canales		
3.4.4. Los aliviaderos		
3.4.5. Los desarenadores		
3.4.6. La cámara de carga		
3.4.7. Las tuberías forzadas		
4. DISEÑO DE UN SISTEMA HIDROENERGÉTICO	**100**	**50**
4.1. Estimación del potencial de un lugar	10	10
4.2. ⇒ Medición del caudal	45	20
4.3. ⇒ Medición del salto hidráulico	45	20

5. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA HIDROENERGÉTICO	**160**	**90**
5.1. ⇒ Operación de un sistema hidroenergético	30	20
5.2. ⇒ Mantenimiento de un sistema hidroenergético	110	60
5.2.1. Mantenimiento en bocatomas		
5.2.2. Mantenimiento en canales		
5.2.3. Mantenimiento en desarenadores		
5.2.4. Mantenimiento en cámaras de carga		
5.2.5. Mantenimiento en tuberías		
5.2.6. Mantenimiento en válvulas		
5.2.7. Mantenimiento en turbinas hidráulicas		
5.2.8. Mantenimiento en acoplamientos, rodamientos y fajas		
5.2.9. Mantenimiento en reguladores		
5.2.10. Mantenimiento en el alternador, equipamiento eléctrico y línea de transmisión		
5.3. Repuestos y herramientas para mantenimiento	20	10
6. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN PRELIMINAR DE MICROCENTRALES HIDROELÉCTRICAS	**110**	**60**
6.1. ⇒ Información básica	30	20
6.1.1. Mercado eléctrico y oferta existente		
6.1.2. Actividades económicas de la zona		
6.1.3. Oferta existente		
6.1.4. Topografía		
6.1.5. Hidrología		
6.2. ⇒ Procedimientos secuenciales de análisis	60	30
6.2.1. Evaluación del mercado eléctrico		
6.2.2. Tasa de crecimiento de la demanda de energía		
6.2.3. Análisis económico		
6.2.4. Gastos fijos y costo específico de las instalaciones		
6.2.5. Gastos variables		
6.3. Estudio final de factibilidad	20	10
7. LAS BOMBAS DE ARIETE HIDRÁULICO (BAH)	**100**	**50**
7.1. Introducción	10	0
7.2. ⇒ Dimensiones	20	10
7.3. Componentes	20	10
7.4. ⇒ Funcionamiento de la BAH	10	5
7.5. Condiciones de operación y capacidad	10	5
7.6. Mantenimiento	20	10
7.7. ⇒ Elementos para el Estudio de factibilidad	10	10
8. LOS RIOGENERADORES	**70**	**40**
8.1. Introducción	0	0
8.2. ⇒ Explotación de las aguas fluviales	20	10
8.3. ⇒ Tipos de maquinaria y principio de funcionamiento	30	20
8.3.1. Máquinas de bulbo		
8.3.2. Máquina de eje perpendicular a la dirección de la corriente		
8.3.3. Convertidores oscilantes de energía hidráulica (OHEC)		
8.4. Ejemplo de experiencias realizadas en el campo de la hidráulica fluvial.	20	10
TOTAL	**840**	**480**

Las partes señaladas con ⇒ son las más importantes. Las partes que no están señaladas podrían ser omitidas si falta el tiempo.

EJERCICIOS Y RESPUESTAS

Ejercicio 1: Usos de la energía hidráulica

Piense en toda clase de actividades para las cuales la energía es necesaria en la vida diaria. ¿En cuáles de estas actividades emplearía Ud. la energía hidráulica?, ¿Podría sugerir otras aplicaciones para esta tecnología?

Respuesta:

Permita que los estudiantes hagan una extensa lista de todas las aplicaciones en las que puedan pensar. Luego, trate de discutir por qué en ciertos casos la energía hidráulica es aplicable, y en otros casos no.

Ejercicio 2: Comparación de costos

Compare los precios por kWh de otras energías renovables (solar, eólica, biomasa) con el precio actual de generación hidráulica.
¿Hay una diferencia considerable?
De ser así, trate de explicar por qué.

Respuesta:

Antes de empezar la clase, informe a los alumnos acerca de los precios actuales en el Perú. Como es de suponerse, los precios que figuran en cada manual son precios promedio, y variarán según el país, así como varían los salarios, los márgenes de ganancia, los costos de producción y los impuestos.

Ejercicio 3: Fortalezas y debilidades

Haga un listado de los puntos fuertes y los puntos débiles de la tecnología hidráulica.
¿Qué habría que hacer para mejorar sus puntos débiles?

Respuesta:

PUNTOS FUERTES	PUNTOS DÉBILES
No se requiere de equipos de importación, sino que existe una tecnología local Se pueden aprovechar caudales y saltos pequeños para satisfacer necesidades básicas No causa polución	Estudio de factibilidad preliminar necesario Aplicable en lugares de difícil acceso que elevan el costo de transporte Es necesario estudiar el comportamiento del río para evitar las sequías o avenidas (huaycos) Problemas con operación y mantenimiento, cuando no existe una buena organización ....

Ejercicio 4: Uso de la ecuación de potencia

1. Se solicita dimensionar un sistema de micro hidroenergía para suministrar 75 kW a una pequeña fábrica rural. En las cercanías existe un salto de agua de unos 25 m ¿Cuánto caudal se necesita?

Respuesta:

Para resolver el problema se debe despejar el caudal Q:

$$Q = \frac{P_{neta}}{5 \times h_{disp}} = \frac{75}{5 \times 25} = 0.6\ m^3/s$$

En sistemas pequeños el caudal se mide a menudo en litros por segundo y no en metros cúbicos por segundo.

2. Si a Ud. le dicen que existe un río pequeño con un caudal de 170 l/s y que puede usar un salto de 90 pies, ¿en cuánto estima la potencia de salida?

Respuesta:

Se sabe que 90 pies equivalen a aproximadamente 30 m y 170 l/s equivalen a 0.17 m³/s, entonces:

$$P_{neta} = 5 \times 0.17 \times 30 = 25.5\ kW$$

Ejercicio 5: Máxima demanda de potencia

Los habitantes del distrito de Pullo y anexos (Ayacucho), desean saber qué potencia requieren para construir su MCH y satisfacer su demanda, con una proyección de 50 años. En un estudio realizado anteriormente, se han podido recoger los siguientes indicadores:

- Nr. actual de habitantes: 1,650
- Nr. futuro (a 50 años) de habitantes: 2,713
- Energía neta necesaria: 174,886 kWh/año
- Pérdidas de energía (12%): 20,986 kWh/año
- Energía bruta necesaria: 195,872 kWh/año
- Horas de funcionamiento de la MCH: 2600 horas/año

Respuesta:

Sabiendo que la potencia se puede expresar como el producto de la energía bruta entre el número de horas de funcionamiento (t) de la MCH al año, tenemos:

$$P = \frac{195{,}872}{2{,}600} = 75.34\ kW$$

Ejercicio 6: **Selección de las turbinas**

Seleccionar las turbinas que podrían operar en una MCH que posee un salto neto de 43 m. y un caudal de 0.22 m^3/s. La velocidad de rotación elegida es de 900 r.p.m.

Respuesta:

Se elegirá entre una Michell–Banki, una Pelton de 1 o más inyectores y una Francis, ya que son las turbinas más comunes y más fáciles de procurar en el país. Se asumen eficiencias totales promedio para cada tipo de turbina:

Michell–Banki	$\eta = 0.65$
Pelton	$\eta = 0.70$
Francis	$\eta = 0.80$

La potencia en HP al eje se halla con:

$$P = \frac{1000 \times 43 \times 0.22}{76} \times \eta$$

$$P = 124.47 \times \eta$$

El número específico de revoluciones:

$$N_s = \frac{900\sqrt{P}}{43^{5/4}} \quad \text{(r.p.m.)}$$

$$N_s = 8.17\sqrt{P} \qquad \text{ó} \qquad N_s = 8.17\sqrt{P/i} \qquad \text{(r.p.m.)}$$

De este modo podemos tomar la siguiente tabla:

Turbina	η	P (HP)	N_s (r.p.m.)		
Michell–Banki	0.65	80.9	73.5	--	--
Pelton	0.70	87.1	76.2 (i=1)	53.9 (i=2)	38.1 (i=4)
Francis	0.80	99.6	81.5	--	--

Tomando en cuenta tabla 3.3 del manual teórico, para las características antes mencionadas la turbina Michell–Banki es una solución válida. También la turbina Francis. Asimismo, se aprecia que la turbina Pelton de uno y dos inyectores exceden los límites respectivos; esto provocaría que las cucharas sean muy grandes. Para cuatro inyectores sería una posible solución. Se recomienda el uso de la turbina Michell–Banki.

Ejercicio 7

Se desea construir un canal enladrillado, de forma rectangular, para aprovechar las aguas de un río. Se sabe que la zona por donde atravesará el canal está constituido por un suelo aluvial (lodo arcilloso), el caudal del río en la zona es de Q = 3.5 m^3/s y la velocidad de sus aguas es 1.2 m/s.

a) Calcular el área transversal del agua en el canal.
b) ¿Qué rugosidad se elegirá?
c) Hallar el radio hidráulico para el perfil elegido.
d) Utilizando la fórmula de Manning, calcular el valor de la pendiente del canal.

Respuesta:

a) Según la fórmula 3.33 del manual de teoría, tenemos que:

$$A = \frac{3.5\ m^3/s}{1.2\ m/s} = 2.92\ m^2$$

b) Según la tabla 3.3, un canal enladrillado posee un coeficiente de rugosidad "n" de 0.020 – 0.010. Tomando un valor promedio, tenemos:

$$n = 0.015$$

c) El canal tiene un perfil rectangular; por lo consiguiente, según la tabla 3.4 del Manual Teórico de Entrenamiento, el radio hidráulico es:

$$r = 0.35\ \sqrt{2.92\ m^2} = 0.60\ m$$

Entonces, el canal deberá tener un ancho de 2.4 m. y una profundidad de 1.2 m.

d) Por consiguiente, la pendiente del canal tendrá el siguiente valor:

$$S = \left(\frac{0.015 \times 1.2}{0.6^{2/3}}\right)^2 = 6.4 \times 10^{-4}$$

***Ejercicio 8*: Opciones de instalación de una MCH en el Perú**

Considerando las condiciones necesarias para instalar sistemas hidráulicos, piense en las regiones del Perú donde la energía hidráulica representaría una buena opción. Si pudiera escoger, ¿Dónde empezaría a elaborar un estudio de factibilidad para la instalación de un sistema hidráulico?

Respuesta:

Las siguientes son algunas de las consideraciones acerca de dónde empezar un estudio de factibilidad para instalar un sistema hidráulico. Pero por supuesto, hay muchas más en las que los estudiantes pueden pensar:

- Deberá ser una región con una población no tan diseminada, para evitar grandes gastos por transmisión. De fácil acceso, para facilitar la instalación y servicio del sistema hidráulico.
- Se deberá contar con una organización preliminar de los beneficiarios.
- La población puede ser grande o pequeña, pero de preferencia en donde se puedan desarrollar actividades productivas.
- La población deberá tener suficientes ingresos como para pagar por un sistema hidráulico en caso de que la energía se venda.
- La región no debe ni deberá estar cubierta por el sistema interconectado.
- Deberá existir el recurso hídrico cerca a los usuarios y tener suficiente salto y caudal.

Ejercicio 9:

Una tarea importante de los técnicos es explicar al usuario acerca de un sistema hidráulico, cómo debe operarlo y darle mantenimiento. Practique esta tarea. Divida la clase en grupos de 4 personas. En cada grupo deberá contar con 2 "usuarios" y 2 "técnicos". Los usuarios desconocen el tema y no saben nada acerca de asuntos técnicos. Los técnicos deberán explicarles cómo opera el sistema y qué es lo que tienen que hacer. Para este ejercicio se puede usar el primer manual de mantenimiento. *Duración: 10 a 15 minutos.*

Respuesta:
A continuación se enumeran las principales reglas que deberán tomarse en cuenta al momento de orientar a los usuarios finales:

- Utilice un lenguaje simple, incluso vernacular, y muchas ilustraciones (como ejemplo, ver el manual de mantenimiento);
- Asegúrese de que su explicación está estructurada en forma clara;
- Responda a las preguntas y observaciones de los "usuarios finales"
- Promueva la interacción y evite hablar demasiado

Luego del ejercicio, permita que los "usuarios" comenten acerca de las habilidades de los técnicos.

Ejercicio 10:
Se tiene una altura de caída de H = 3 m y se desea elevar 7 l/min, hasta una altura de h = 25 m. Calcule el tamaño necesario de la bomba.

Respuesta:

La relación de alturas será: $h/H = 25/3 = 8.33$ m

Utilizando la tabla de curvas características, para un caudal de q = 7 l/min, se tiene que una BAH 2 ½ " sería la indicada.

Ejercicio 11:
Se desea bombear 10 l/min de agua desde una altura de 6 m hasta 68 m sobre el nivel de la fuente de alimentación. Calcule el tamaño necesario de la bomba.

Respuesta:

La relación de alturas es de: $h/H = 68/6 = 11.33$ m

Para un caudal de $q = 10$ l/min, se necesitará una BAH 4 ".

PARTE 2: *PRÁCTICA DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA*

DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO

EJERCICIOS	Duración [horas]	
	MM	EI, ET
1. Medición del caudal de un río/acequia usando el método del flotador	2	0
2. Medición del caudal de un río/acequia por el método del recipiente	2	0
3. Medición del salto mediante el método de la manguera de nivelación	3	0
4. Medición del salto por el método de la manguera y el manómetro	3	0
5. Selección de un lugar para instalar un sistema hidráulico	3	0
6. Elección del lugar adecuado para la bocatoma en un río	3	0
7. Instalación de una pico central hidráulica	5	0
8. Mediciones prácticas (corriente y voltaje de salida del generador en vacío y con una carga)	3	0
9. Inspección de una instalación y "resolución de problemas"	6	0
10. Elaboración de las curvas características de la pico turbina	3	0
TOTAL	**33**	**0**

EQUIPO NECESARIO

Ejercicio 1.
- Diversos pedazos de madera ligera
- Cronómetro
- Wincha
- Papel y lápiz

Ejercicio 2.
- Tanque de agua calibrado
- Tubo de plástico cortado por la mitad , calibre: 2.5 o 3 pulg.
- Cronómetro

Ejercicio 3.
- Manguera de plástico transparente de 4 a 10 mm de diámetro.
- Dos listones de madera graduados al decímetro o centímetro
- Papel y lápiz

Ejercicio 4.
- Manómetro
- Manguera con diámetro entre 6 y 8 mm.
- Lápiz y papel

Ejercicio 5.
- Wincha
- Lista de componentes de un sistema hidráulico
- Lista de requerimientos del usuario
- Papel y lápiz

Ejercicio 6.
- Lista de criterios de diseño
- Wincha
- Papel y lápiz

Ejercicio 7.
- Pico turbina
- Sistema de transmisión
- Generador eléctrico
- Cables
- Tablero de instrumentos de medición (corriente y tensión)
- Manómetro
- Cargas (focos, batería pequeña, otros)
- Tubería de ½ " de PVC o manguera de presión de 6,12 o 18 m.
- Llave de bola para controlar el caudal
- Tanque de almacenamiento de agua (si no se tiene un caudal libre en las cercanías)

Ejercicio 8.
- Multímetros desde rangos de mV y mA.
- Papel y lápiz para gráficos

Ejercicio 9.
- Papel y lápiz
- Curvas de comparación

Ejercicio 10. - Papel y lápiz, curvas de comparación

EJERCICIOS

Ejercicio 1: Medición del caudal de un río o acequia usando el método del flotador

Se levantará el perfil de la sección del lecho del río y se dibujará en un papel (conforme al procedimiento del Manual Teórico de Entrenamiento), luego se medirá una distancia de 10 m a lo largo de un tramo longitudinal del río

Divida la clase en dos grupos. El primer grupo se encargará de solar el flotador y cronometrar la partida, mientras que el segundo, situado al otro extremo de la distancia, se encargará de avisar cuando el flotador llegue al final de la distancia. Se llevarán a cabo una 10 mediciones.

Se podrá entonces calcular la velocidad media de la corriente en la sección, multiplicando el resultado del promedio de la velocidad por un factor de corrección:

0.8	en un caudal de concreto
0.9	en un canal de tierra
0.10	en un arroyo quebrado

En corrientes con una media profundidad de menos de 150 mm, el factor es imprevisible y puede llegar a ser muy bajo (0.25). Este método da una exactitud global de +/- 80%. El caudal es el producto de esta velocidad corregida, multiplicada por el área de la sección representativa. Normalmente va expresada en pies cúbicos por segundo, metros cúbicos por segundo o litros por segundo (1 metro cúbico = 1000 litros).

Ejercicio 2: Medición del caudal de un río o acequia por el método del recipiente.

Medir varias veces el tiempo que necesita un caudal de agua en llenar un recipiente pequeño (para caudales de hasta 4 l/s) o uno más grande (para caudales de hasta 50 l/s), por medio de un trozo de tubo de plástico insertado en una pequeña represa de barro.

Se calcula la media de los valores obtenidos.

Ejercicio 3: Medición del salto mediante el método de la manguera de nivelación

Suponiendo que se comienza en donde se hallará la cámara de carga, siga con el procedimiento graficado en las figuras 4.5, 4.5a y 4.5b en el Manual Teórico de Entrenamiento.

Ejercicio 4: Medición del salto por el Método de la Manguera y el Manómetro

Primero calibre al manómetro.

Anote cada lectura de la presión en una hoja de papel y conviértalo a su verdadera magnitud, usando la curva de calibración.

Cada lectura del medidor en Kilo Pascal (k Pa) o PSI conviértalo a una caída en m utilizando las ecuaciones:

$$H(m) = P(k\,Pa) / 9.8 \qquad h(m)=P(PSI) \times 0.7045$$

Calibración del Manómetro
Use papel milimetrado para hacer la curva de calibración. Mida cuidadosamente una distancia vertical, posiblemente usando una escalera, en las ventanas o en techo.

Tome alrededor de cinco lecturas barriendo en lo posible desde la menor magnitud hasta la máxima.
Dibuje los resultados en un sistema de coordenadas, una los puntos obtenidos y prolongue la línea obtenida (debe ser una recta).

Ejercicio 5: Selección de un lugar para instalar un sistema hidráulico

Tenga en cuenta los distintos componentes que ayudan al abastecimiento de agua en una MCH:

1. Baraje de derivación
2. Toma de ingreso
3. Compuertas de regulación
4. Aliviaderos
5. Canales de rebose
6. Desarenador
7. Canal
8. Cámara de carga
9. Tubería de presión
10. Cruces de canal
11. Apoyos de tubería
12. Anclajes de tubería

Para elegir el lugar adecuado de instalación de una MCH, se deberá tomar en cuenta que no todos los componentes son obligatorios y que se pueden obviar algunos, siempre y cuando el lugar presente estas oportunidades.

Además se deberán tomar en cuenta los criterios de: sedimentación, caudal adecuado, avenidas, turbulencia, pérdidas del salto y el golpe de ariete. Es importante que en el diseño se consiga que la tubería sea lo más corta posible y que la casa de fuerza se encuentre lo más cerca posible a las casas beneficiadas.

Ejercicio 6: Elección del lugar adecuado para una bocatoma en un río

Use los siguientes criterios de diseño:

1. Curso del río preferible: tramo recto. Si no se puede, al comienzo del tramo curvo
2. Configuración del terreno (pendiente del cauce, ancho del valle)

3. Caudal del río, caudal a derivarse, ángulo de desvío
4. Régimen del río, nivel de aguas mínimas y máximas ordinarias, nivel de aguas máximas extraordinarias (coeficiente de retorno)
5. Acarreo de materiales (frecuencia de acarreo, tamaño de materiales acarreados, materiales de fondo, materiales de suspensión)
6. Geología del lugar. Presencia de fallas, arcillas y calizas en las zonas de fundación de la bocatoma
7. Geotecnia del lugar del emplazamiento, capacidad portante de los suelos
8. Importancia de la obra, disponibilidad presupuestal.

Ejercicio 7: Instalación de una pico central hidráulica en laboratorio

Verifique todos los componentes necesarios y separe a la clase en subgrupos para que efectúen las uniones del sistema.

Una vez realizado el trabajo, controle conjuntamente con los alumnos, las uniones y haga una primera prueba de funcionamiento. Haga las lecturas necesarias y escríbalas en un papel.

Varíe los parámetros de caudal (mediante la apertura de la válvula de pase del agua) y de salto (mediante el aumento de presión del motor).

Levante una curva de comportamiento de la turbina Pelton.

Ejercicio 8: Mediciones prácticas (corriente y voltaje de salida del generador en vacío y con una carga)

Utilizando el amperímetro y el voltímetro acoplados al generador eléctrico, se realizarán mediciones eléctricas en vacío y con diferentes cargas que se posean en el lugar (focos, pequeños cargadores de pilas, juguetes, etc.)

Ejercicio 9: Inspección de una instalación y "solución de problemas"

Antes de empezar con el ejercicio, Ud. puede:

- mover algunos cables
- cambiar algunos cables instalados por unos más delgados o más gruesos
- descentrar la faja transmisora o aflojarla

Deje que cada subgrupo de dos o tres alumnos revise el sistema instalado siguiendo una lista de verificación propuesta por la clase.

Deje que los grupos llenen la lista y que averigüen si el sistema está funcionando adecuadamente, o qué partes del sistema están fallando.

Después de terminado el ejercicio, haga que un representante de cada grupo exponga sus hallazgos.

Reparta la lista de diagnóstico de fallas (ver Anexo del Manual Teórico de Entrenamiento) y busque en la columna de "posible causa".

Deje que los grupos encuentren el problema y las razones por las que el sistema no funciona. Indique que reparen el sistema.

Ejercicio 10: Elaboración de las curvas características de la pico turbina

Las curvas características de una turbina representan el comportamiento de la máquina frente a los diversos comportamientos del sistema.

En este ejercicio se realizarán los siguientes ensayos, de acuerdo a las figuras 1 y 2 que aparecen en el Manual Práctico:

- Ensayo bajo salto y velocidad de rotación constantes y caudal variable
- Ensayo bajo salto y apertura del distribuidor constantes y velocidad de rotación variable

Impreso en los talleres de
GOVI - 4 E.I.R.L
R.U.C. 11080871
Av. Petit Thouars 1887 - Lince
Telefax: 265-6273
Lima - Perú