



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**GUÍA DE INSTALACIÓN, MANTENIMIENTO Y PRÁCTICA PARA EL
MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA POR MEDIO DE TURBINA
HIDRÁULICA DEL PARQUE TECNOLÓGICO USAC.**

RUSLAN OLIVER ALVAREZ POP Y JAVIER ARMANDO PÉREZ SÁNCHEZ

Asesorados por Ing. José Ismael Véliz Padilla

Guatemala, septiembre de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA DE INSTALACIÓN, MANTENIMIENTO Y PRÁCTICA PARA EL
MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA POR MEDIO DE TURBINA
HIDRÁULICA DEL PARQUE TECNOLÓGICO USAC.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Presentando a Junta Directiva de
la Facultad de Ingeniería

POR

RUSLAN OLIVER ALVAREZ POP Y JAVIER ARMANDO PÉREZ SÁNCHEZ

Asesorados Por Ing. José Ismael Véliz Padilla

Al conferírseles el título de

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NOMINA DE JUNTA DIRECTIVA

Decano:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
Vocal I:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Vocal II:	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
Vocal III:	Ing. Julio David Galicia Celada
Vocal IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Vocal V:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
Secretario:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

RUSLAN OLIVER ALVAREZ POP

Decano:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
Examinador:	Ing. Pablo Rodolfo Zúñiga Ramirez
Examinador:	Ing. Carlos Enrique Sanabria Solchaga
Examinador:	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Secretario:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

JAVIER ARMANDO PÉREZ SÁNCHEZ

Decano:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
Examinador:	Ing. Osmar Omar Rodas Mazariegos
Examinador:	Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga
Examinador:	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
Secretario:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presentamos a consideración nuestro trabajo de graduación titulado:

GUÍA DE INSTALACIÓN, MANTENIMIENTO Y PRÁCTICA PARA EL MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA POR MEDIO DE TURBINA HIDRÁULICA DEL PARQUE TECNOLÓGICO USAC.

Tema que nos fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 5 febrero de 2004.

Ruslan Oliver Alvarez Pop

Javier Armando Pérez Sánchez

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, por habernos recibido cuando nos encontrábamos a la mitad de la carrera.

Al ingeniero José Ismael Véliz Padilla, por la asesoría brindada a nuestro trabajo de graduación.

A los ingenieros Julio Luna y Arturo Estrada, por el apoyo brindado.

ACTO QUE DEDICO

A los que estimo y me estiman.

A MIS PADRES, por su esfuerzo y cariño.

A MI FAMILIA, por todo lo que me han dado y por estar siempre conmigo.

A MIS AMIGOS, por hacer todo más fácil.

Ruslan Oliver Alvarez Pop

ACTO QUE DEDICO

A DIOS, por ser la fuente de inspiración en toda mi carrera y además por todas sus bendiciones que me permitieron alcanzar la meta deseada.

A MI PADRE, Francisco Pérez Crocker, por todo su apoyo, amor y sacrificio

A MI MADRE, Delfina Sánchez de Pérez, por todo su apoyo, amor y sacrificio

A MIS HERMANOS, Ramón Alejandro, Gabriela Abigail, Virginia Mayteé, Lourdes de Fátima, por su apoyo, amor y cariño.

A MIS FAMILIARES, por la ayuda brindada en los momentos difíciles.

A MIS AMIGOS, por su amistad y apoyo brindado durante toda mi carrera.

Javier Armando Pérez Sánchez

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. GENERALIDADES	
1.1 Teoría de funcionamiento	1
1.2 Tipos de turbinas	2
1.3 Factores considerados en el sistema de tubería utilizado	8
1.4 Ventajas y desventajas contra otros medios de generación	9
2. COMPONENTES DEL SISTEMA Y SU INSTALACIÓN	
2.1 Tanque	13
2.2 Tuberías, mangueras y válvulas de cierre	16
2.3 Manómetro	21
2.4 Turbina-generator	21
2.5 Medidores de voltaje y amperaje	24
2.6 Regulador de voltaje	26
2.7 Tanque y bomba de retorno	26
2.8 Lámpara	29
2.9 Conexiones eléctricas	30
2.10 Características del fluido	31

3.	MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	
3.1.	Turbina	33
3.2.	Bomba	39
3.3.	Regulador de voltaje	42
3.4.	Medidores de voltaje y amperaje	42
4.	DATOS DE OPERACIÓN SEGÚN VARIABLES	
4.1.	Caudal	47
4.1.1	Pruebas con la turbina en su posición superior	50
4.1.2	Pruebas con la turbina en su posición intermedia	51
4.1.3	Pruebas con la turbina en su posición inferior	53
4.2.	Presión	54
4.3.	Velocidad	57
5.	GUÍAS DE PRÁCTICA	59
5.1	Práctica No.1 Identificación y conexión de los componentes del módulo	62
5.2	Práctica No. 2. Determinación de caudales y cálculo de tiempo de vaciado	65
5.3	Práctica No. 3. Variación de la altura de la turbina	70
5.4	Práctica No. 4. Variación de la presión en el sistema	76
5.5	Práctica No. 5. Variación en el caudal	79
	CONCLUSIONES	83
	RECOMENDACIONES	85
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
	BIBLIOGRAFÍA	89
	ANEXO	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Esquema y vista del rodete de una turbina Pelton	3
2	Esquema y vista del rodete de una turbina Francis	5
3	Vista de una turbina Francis, con su respectiva entrada y salida de agua	6
4	Esquema y vista del rodete y de una turbina Kaplan con su respectiva entrada y salida de agua	7
5	Tanque de agua colocado sobre torre y con mangueras conectadas	15
6	Recorrido de las mangueras desde el depósito de agua hasta la turbina	19
7	Válvula de bola	20
8	Mangueras cortas, que van desde la llave de bola hasta la entrada de la turbina	20
9	Diagrama de la posición, en la cual deben ponerse los tornillos para cambiar la turbina de posición	23
10	Turbina y generador. Vista del rodete de la turbina	23
11	Medidor de voltaje y amperaje	25
12	Bomba en el interior del recipiente, que se utilizará como tanque para el retorno	27
13	Bomba de retorno y diagrama de instalación	28
14	Vista de frente, lateral del reflector y medidas del reflector, dadas en centímetros	30
15	Agua utilizada para mover los álabes de la turbina	31
16	Cojinete de empuje axial de la turbina	33

17	Tobera izquierda y derecha de la turbina	34
18	Puntos de oxidación en la estructura de la turbina	35
19	Puntos de oxidación y fugas en el sistema	36
20	Accesorios que deben limpiarse	37
21	Generador eléctrico	38
22	Tamiz de la bomba sumergible	39
23	Cables de la bomba sumergible	41
24	Recipiente del sistema de riego	42
25	Abrazadera de los cables del generador eléctrico	43
26	Multímetro	44
27	Empalmes del multímetro	44
28	Tanque lleno de agua	48
29	Tanque a la mitad de su capacidad	49
30	Altura desde el tanque hasta la turbina, cuando ésta se encuentra en su parte más alta	50
31	Altura desde el tanque hasta la turbina, cuando ésta se encuentra en la sección intermedia	51
32	Altura desde el tanque hasta la turbina, cuando ésta se encuentra en la posición inferior	53
33	Reductor campana con un segmento de manguera en su interior y el otro sin dicho segmento	57
34	Tanque con tuerca al nivel de la base sobre el lado derecho, que indica tanque lleno	63
35	Tanque con tuerca sobre la marca gris, que indica que el tanque se encuentra a la mitad de su capacidad	67
36	Tanque con tuerca arriba de la parte cilíndrica, que indica que el tanque se encuentra con bajo nivel de agua	68
37	Estructura y turbina montada correctamente sobre el soporte inferior	71
38	Estructura y turbina montada correctamente sobre el soporte intermedio	73

39	Estructura y turbina montada correctamente sobre el soporte superior	74
40	Válvula abierta a 45°	81
41	Esquemas de una central hidroeléctrica	91
42	Vista de diferentes álabes de turbinas Pelton	92
43	Turbina Pelton con inyectores de agua	93
44	Medidas en centímetros de la turbina, la estructura que la sostiene y la torre que soporta el tanque	94
45	Vistas del módulo, cuando el reflector se encuentra encendido	95
46	Otras vistas del módulo cuando el reflector se encuentra encendido	96

TABLAS

I	Rangos que maneja el medidor de voltaje y amperaje	24
II	Características básicas presentadas en el agua de la red hídrica de la Universidad de San Carlos de Guatemala	32
III	Sustancias presentes en el agua de la red hídrica de la Universidad de San Carlos de Guatemala	32
IV	Datos para calcular el caudal con tanque lleno	48
V	Datos para calcular el caudal con tanque a la mitad de su capacidad	49
VI	Datos obtenidos con el tanque lleno de agua y con la turbina, en la posición que se muestra en la figura 30	50
VII	Datos obtenidos con el tanque a la mitad de su capacidad y con la turbina, en la posición que se muestra en la figura 30	51
VIII	Datos obtenidos con el tanque lleno de agua y con la turbina, en la posición que se muestra en la figura 31	52
IX	Datos obtenidos con el tanque a la mitad de su capacidad y con la turbina en la posición que se muestra en la figura 31	52

X	Datos obtenidos con el tanque lleno de agua y con la turbina en la posición que se muestra en la figura 32	53
XI	Datos obtenidos con el tanque a la mitad de su capacidad y con la turbina, en la posición que se muestra en la figura 32	54
XII	Presiones cuando el tanque se encuentra lleno de agua y cuando está a la mitad de su capacidad	55
XIII	Voltaje y amperaje obtenidos, cuando la turbina se encuentra en la posición superior y se tiene diferentes presiones	56
XIV	Voltaje y amperaje obtenidos, cuando la turbina se encuentra en la posición intermedia y se tienen diferentes presiones	56
XV	Voltaje y amperaje obtenidos, cuando la turbina se encuentra en la posición inferior y se tiene diferentes presiones	56
XVI	Voltaje y Amperaje obtenidos, cuando se tienen dos condiciones diferentes de velocidad del fluido	58

LISTA DE SÍMBOLOS

Amp	Amperio
N	Newton Unidad de medida de fuerza en sistema internacional
Pa	Pascal, Unidad de medida de presión en sistema internacional
Snm	Sobre el nivel del mar
v	Voltios
Watt	Unidad de Potencia del Sistema internacional

GLOSARIO

Abrazadera	Es el aro o sortija de metal, ajustable, que sirve para sujetar una pieza a otra, ciñéndola.
Balastro	Es el dispositivo que almacena carga eléctrica. Condensador.
Conmutador	Es el dispositivo que sirve para invertir el sentido de la corriente.
Corriente directa	Es aquella que fluye con una misma dirección, sin cambiar de polaridad.
Multímetro	Es el instrumento que permite medir varias magnitudes eléctricas, como la intensidad, la tensión y la resistencia.
Niple	Es un accesorio roscado para tuberías, que se utiliza para unir un componente con otro.
Poliducto	Es la tubería de material polimérico, poco flexible, que se utiliza regularmente en instalaciones eléctricas.
Tamiz	Es la parte de la bomba que no permite el paso de objetos sólidos, a través de la succión de la misma.

RESUMEN

El parque tecnológico de energía renovable cuenta con los siguientes módulos: solar, eólico, geotérmico y micro central hidroeléctrica (mch). El objetivo general del trabajo de graduación es dar una explicación, en lo que se refiere a la instalación y mantenimiento del sistema mch. Además, lo anterior se complementa con pruebas de funcionamiento del módulo hidráulico y una guía de prácticas.

Dentro del capítulo 1, se presenta el marco teórico, en el cual se describe cómo funciona un sistema de generación hidráulico, la importancia que tiene el tipo de turbina elegida según las condiciones dadas; también se presentan los factores considerados para la elección de una tubería adecuada para el proyecto. La importancia de este capítulo radica en que se tiene un panorama, con el que se efectúa una comparación entre un sistema real de generación hidráulica y el módulo del parque tecnológico, mostrando, además, las ventajas y desventajas de la generación hidráulica contra otros medios.

En el capítulo 2, se describe la instalación de los componentes del módulo de generación hidráulico. En el capítulo 3, se describen el mantenimiento de equipos y otros componentes instalados. El mantenimiento se describe en pasos para cada equipo y en los componentes allegados al mismo.

Los datos de operación del sistema se presentan en el capítulo 4, en los cuales se obtienen resultados de energía generada cuando se varía caudal, presión y velocidad.

Por último, en el capítulo 5, se presentan guías de práctica. El objetivo de las guías permiten llevar a cabo diferentes pruebas en el módulo de una manera ordenada y que se conozca la funcionalidad del mismo.

OBJETIVOS

General:

Desarrollar una guía de instalación, mantenimiento y prácticas para un módulo demostrativo de generación eléctrica por turbina hidráulica.

Específicos:

1. Construir un módulo demostrativo de generación eléctrica por turbina hidráulica.
2. Describir el funcionamiento de los elementos, que conforman el módulo de generación eléctrica por turbina hidráulica.
3. Describir el mantenimiento que requiere el módulo y sus elementos.
4. Determinar la cantidad de energía producida por el módulo, con la realización de pruebas con diferente presión, velocidad y caudal.
5. Proporcionar guías de práctica sobre el módulo con fines educativos.

INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica tiene varias ventajas, debido a que es una fuente de generación que no daña el ambiente. La generación eléctrica, por medio del aprovechamiento de la energía hidráulica, se basa en que un eje es impulsado por la fuerza del agua, la que proviene generalmente de un río; este movimiento del eje es convertido en energía eléctrica.

En Guatemala, existen varias generadoras que utilizan la energía hidráulica para transformar ésta en energía eléctrica. Un ejemplo de ello es la hidroeléctrica de Chixoy, la cual provee energía eléctrica a gran parte de la nación. Por la importancia de este tipo de generadoras eléctricas en el país, el parque tecnológico de energía renovable de la universidad, tiene como propósito dar a conocer en qué consiste, cómo funciona y los beneficios ofrecidos por el sistema.

Para aprovechar adecuadamente la energía hidráulica, es necesario que se cuente con un equipo adecuado, y para lograr que la utilización de este recurso sea eficiente. Para que funcione de manera adecuada el sistema de generación, debe tomarse en cuenta si la turbina trabajará con la presión del agua o bien con su caudal, para su elección. En este caso en específico, la turbina utiliza una caída de agua para mover el rodete, por lo tanto, la altura de presión del agua debe ser lo mayor posible, para que funcione de mejor manera el sistema.

Además, todos los componentes del módulo de generación deben estar instalados correctamente y recibir un mantenimiento adecuado, para que se tenga la seguridad de que el sistema trabajará óptimamente y por largo tiempo.

1. GENERALIDADES

1.1 Teoría de funcionamiento

La energía hidráulica es aquella energía que se obtiene de la caída del agua desde cierta altura a un nivel inferior o bien utilizando un cierto caudal de agua, lo que provoca el movimiento de ruedas hidráulicas o turbinas. La hidroelectricidad es un recurso natural disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua. Su desarrollo requiere construir pantanos, presas, canales de derivación, y la instalación de grandes turbinas y equipo generador de electricidad.

El funcionamiento es sencillo; en el proceso, se convierte la energía potencial del agua a cierta altura en energía eléctrica. Se permite la caída del fluido y la energía potencial se convierte en cinética y alcanza gran velocidad en el punto más bajo; en este punto, se le hace pasar por una turbina y provoca un movimiento rotatorio en un generador, que a su vez se convierte en energía eléctrica de tensión y frecuencia desordenadas. Una vez extraída la energía eléctrica, el agua se devuelve al río para su curso normal, que se puede aprovechar de nuevo para obtener energía eléctrica aguas abajo o para el consumo humano.

Su operación es simple, con mantenimiento mínimo y vida útil prolongada. Se pueden construir en tamaños que permiten satisfacer demandas de energía eléctrica de grandes ciudades, así como también de pequeñas localidades e incluso de viviendas individuales, que se encuentran en zonas rurales alejadas de las grandes redes eléctricas. Todo esto implica la inversión de grandes sumas de dinero, por lo que no resulta competitiva en regiones donde el carbón o el petróleo son baratos, aunque el coste de mantenimiento de una central térmica, debido al combustible, sea más caro que el de una

central hidroeléctrica. Sin embargo, el peso de las consideraciones medioambientales, centra la atención en estas fuentes de energía renovables.

La fuente de la energía mecánica es el agua. Ésta se transforma en energía cinética, que a su vez acciona un generador eléctrico.

1.2 Tipos de turbinas

Turbinas Pelton: se conocen como turbinas de presión, por ser ésta constante en la zona del rodete, de chorro libre, de impulsión o de admisión parcial, por ser atacada por el agua sólo una parte de la periferia del rodete.

Su utilización es idónea en saltos de gran altura, alrededor de 200 m y mayores, y en caudales relativamente pequeños, hasta 10 m³/s aproximadamente.

Por razones hidroneumáticas y por sencillez de construcción, son de buen rendimiento para amplios márgenes de caudal (entre 30 % y 100 % del caudal máximo). Por eso se colocan pocas unidades en cada central, que requiere turbinas de estas características.

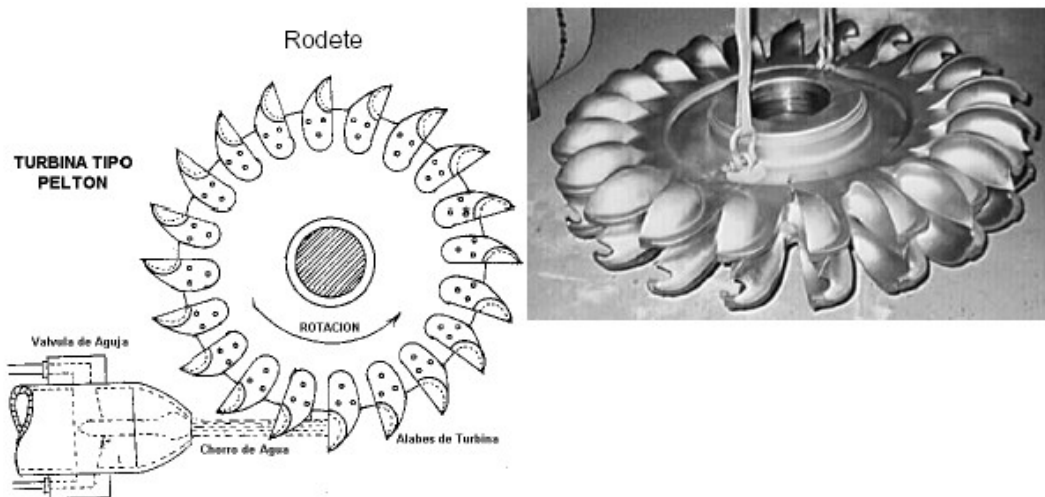
Pueden ser instaladas con el eje en posición vertical u horizontal; es esta última disposición la más adecuada por su facilidad en el montaje.

La turbina Pelton está formada por una rueda móvil provista de aletas o cucharas en su periferia, sobre las cuales incide el chorro de agua a la presión atmosférica (Ver figura 1). El chorro sale de un inyector fijo, en el cual la regulación se efectúa, variando la posición de una aguja que obstruye más o menos el orificio de salida. El chorro incide en la arista central de las cucharas y se divide en dos partes que salen despedidas lateralmente, para caer después al canal de fuga directamente por la fuerza de la

gravedad. Para caudales mayores, pueden disponerse varias toberas en diversas posiciones del rodete.

Entre los componentes de una turbina Pelton, se pueden mencionar los inyectores, los cuales transforman la energía de presión del fluido en energía cinética. Consta de tobera y válvula de aguja, que es un punzón que regula el caudal en función de su proximidad a la tobera. Por otro lado, se tiene la cámara de distribución, la cual es la prolongación de la tubería forzada, que conduce el caudal de agua hasta los inyectores. El distribuidor está constituido por varios equipos de inyección de agua, que dirigen convenientemente un chorro de agua al rodete, y también regulan o cortan el caudal. Por último, el rodete es la parte de la turbina donde se transforma la energía hidráulica en energía mecánica de rotación. Esta última consta de álabes, carcasa, eje, rueda, cámara de descarga y sistema hidráulico de frenado.

Figura 1. Esquema y vista del rodete de una turbina Pelton.



Fuente: www1.ceit.es, marzo 2004

Turbinas Francis: son conocidas como turbinas de sobrepresión por ser variable la presión en las zonas del rodete o de admisión total, ya que éste se encuentra sometido a la influencia directa del agua en toda su periferia. También se conocen como turbinas radiales-axiales y turbinas de reacción.

El campo de aplicación es muy extenso, dado el avance tecnológico conseguido en la construcción de este tipo de turbinas. Pueden emplearse en saltos de distintas alturas dentro de una amplia gama de caudales, entre 2 y 200 m³/s aproximadamente.

En función de la velocidad específica del rodete, cuyo número de revoluciones por minuto depende de las características del salto, se pueden clasificar las turbinas Francis como lenta, normal, rápidas y extrarrápidas.

La turbina Francis lenta se utiliza para saltos de gran altura, alrededor de 200 m o más. La normal es la indicada en saltos de altura media, entre 200 y 20 m. Por último, las turbinas Francis rápidas y extrarrápidas son apropiadas en saltos de pequeña altura, inferiores a 20 m

Las turbinas Francis son de rendimiento óptimo, pero solamente entre unos determinados márgenes (para 60 % y 100 % del caudal máximo); siendo lo anterior una de las razones por la que se disponen varias unidades en cada central, con el objeto de que ninguna trabaje individualmente, por debajo de valores del 60 % de la carga total.

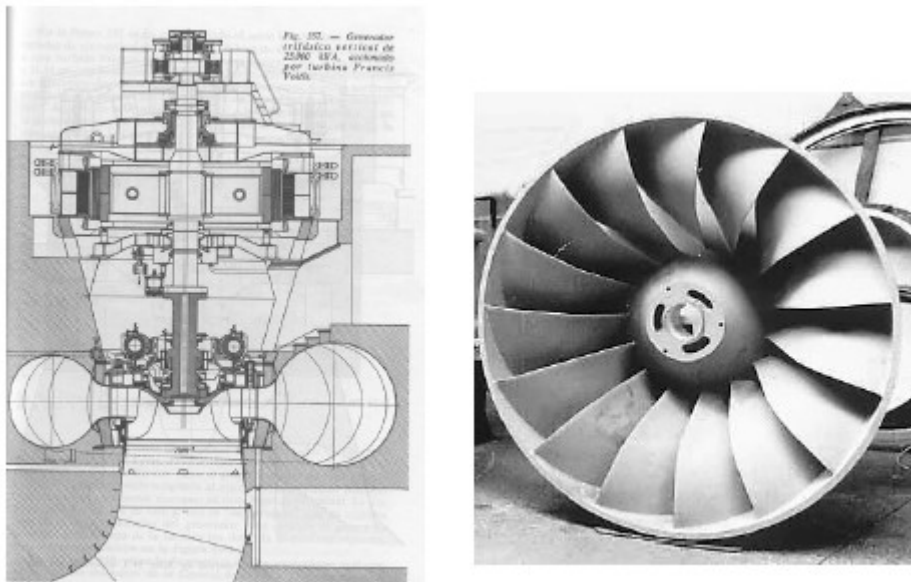
Al igual que las turbinas Pelton, las turbinas Francis pueden ser instaladas con el eje en posición horizontal o vertical, esta última disposición es la más generalizada por estar ampliamente experimentada, especialmente en el caso de unidades de gran potencia.

La turbina Francis funciona de la forma en que a continuación se describe. El agua a presión va a una cámara espiral en forma de caracol, cuya misión es repartir el caudal por toda la periferia del rodete. Luego, una serie de *álabes fijos* se encargan de canalizar

correctamente las líneas de flujo del agua. Entre esta hilera de álabes fijos y el rodete, se encuentra una segunda fila de *álabes móviles* o palas directrices, que constituyen lo que se denomina el anillo distribuidor. El distribuidor permite regular el caudal de la turbina sin que las venas líquidas sufran desviaciones bruscas o contracciones, lo que permite un rendimiento elevado incluso con cargas reducidas. Estos álabes móviles pueden girar alrededor de un eje paralelo al eje de la máquina, y el movimiento de cierre es simultáneo para todos ellos.

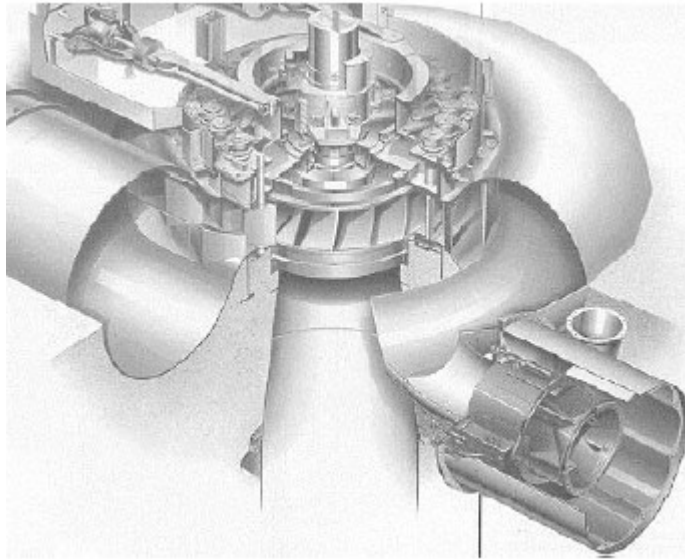
Parte de la energía potencial gravitatoria del agua embalsada, se convierte en energía cinética. A su paso por las palas fijas del ante distribuidor y las palas móviles del distribuidor, aumenta la energía cinética que provoca el giro del rodete, como puede verse en las figuras siguientes.

Figura 2. Esquema y vista del rodete de una turbina Francis.



Fuente: www1.ceit.es, marzo 2004

Figura 3. Vista de una turbina Francis, con su respectiva entrada y salida de agua.



Fuente: www1.ceit.es, marzo 2004

Turbina Kaplan: al igual que las turbinas Francis, las de tipo Kaplan son turbinas de admisión total, incluidas en la clasificación de turbinas de reacción. Las características constructivas y de funcionamiento son muy similares entre ambos tipos.

Se emplean en saltos de pequeña altura, alrededor de 50 m y menores, además, con caudales medios y grandes de aproximadamente de 15 m³/s en adelante.

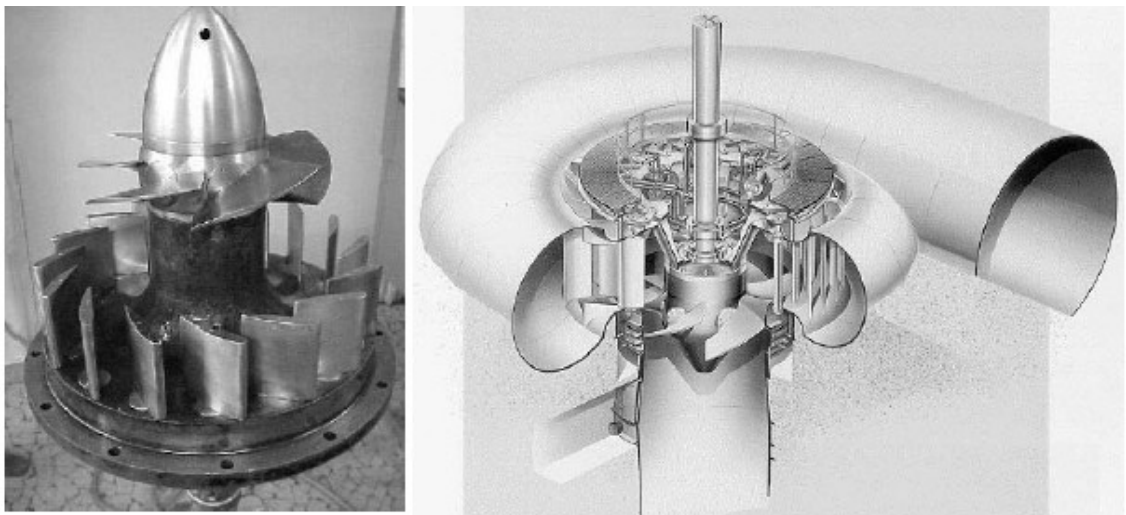
Debido a su diseño, permiten desarrollar elevadas velocidades específicas, con lo que obtienen buenos rendimientos, incluso dentro de extensos límites de variación de caudal. A igualdad de potencia, las turbinas Kaplan son menos voluminosas que las turbinas Francis.

Normalmente se instalan con el eje en posición vertical, aunque también se prestan para ser colocadas de forma horizontal o inclinada.

Las turbinas Kaplan están constituidas por una hélice de eje vertical con pocos álabes y gran sección de paso entre ellos. El agua entra al rodete, desde una cámara espiral con distribuidor regulable análogo al de las turbinas Francis, pero los álabes están situados a una altura relativamente menor, de manera que el flujo es prácticamente axial. Para conseguir el ángulo de incidencia óptimo de las venas líquidas, cuando se funciona a caudal variable, es necesario inclinar los álabes del rodete. El movimiento de todas las palas es simultáneo, mediante un complejo sistema de bielas alojado en el interior del rodete.

Son llamadas turbinas de doble regulación, debido a que tienen palas en el rodete y en el distribuidor. Su rodete es similar a la hélice de un barco. Las palas tienen libertad de movimiento, y pueden girar sobre sus asientos situados en el núcleo del rodete. A mayor salto más palas, como puede observarse en la figura siguiente.

Figura 4. Esquema y vista del rodete y de una turbina Kaplan, con su respectiva entrada y salida de agua.



Fuente: www1.ceit.es, marzo 2004

Para realizar cálculos de las turbinas anteriormente mencionadas, pueden utilizarse las ecuaciones fundamentales, que se detallan a continuación:

$$Y = \frac{u_1^2 - u_2^2}{2} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2}$$

$$H = \frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2g} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2g}$$

$$P = \gamma Q H_u$$

Donde:

Y: Energía específica intercambiada entre el rodete y el fluido. (m²/s²)

H: Altura hidráulica o de carga (m)

P: Potencia (N*m/s o Watt)

u₁: Velocidad absoluta del álabe a la entrada o velocidad periférica a la entrada. (m/s)

u₂: Velocidad absoluta del álabe a la salida o velocidad periférica a la salida. (m/s)

w₁: Velocidad relativa a la entrada (del fluido respecto al álabe) (m/s)

w₂: Velocidad relativa a la salida (del fluido respecto al álabe) (m/s)

c₁: Velocidad absoluta del fluido a la entrada (m/s)

c₂: Velocidad absoluta del fluido a la salida (m/s)

γ: Peso específico (N/m³)

Q: Caudal (m³/s)

1.3 Factores considerados en el sistema de tubería utilizado

Para llegar a un diseño final de la tubería que se va a utilizar en el módulo de generación eléctrica, se tomaron en cuenta diversos factores, entre los que se pueden mencionar el costo y el diámetro de la misma.

Los diámetros de salida del depósito de agua y de entrada a la turbina son de 2" y ¾", respectivamente. Por eso, se tenía que decidir el utilizar tubería de 2" en la mayor parte de la trayectoria o bien de ¾". Al utilizar principalmente tubería de 2", se tendría la ventaja de que la misma tubería funcionara como un segundo embalse (tomando como embalse principal al depósito de agua) en menor escala. Lo anterior, hace que haya una mayor capacidad de caudal, en comparación con la utilización mayoritaria de tubería de ¾". Sin embargo, al utilizar la tubería de 2", se tendría que hacer una reducción hasta ¾", muy cerca de la entrada de la turbina, lo cual crearía un "cuello de botella". Además, la tubería de 2", sin importar el material, tiene mayor costo que su similar de ¾" de diámetro. Por eso, debido a que se tiene un menor costo y que es obligatorio que se lleve a cabo una reducción desde 2" hasta ¾", se prefirió el uso de una tubería de ¾" en la mayoría del tramo, para realizar la reducción anteriormente mencionada, exactamente a la salida del depósito de agua.

Debido a que según el diseño que se va utilizar, la turbina se debe encontrar en tres posiciones verticales diferentes; la tubería, por lo tanto, debe adaptarse a esos parámetros. Esos cambios de posición vertical de la turbina se utilizarán para comparar su funcionamiento con diferentes alturas de presión. De acuerdo con los requerimientos mencionados, se podían utilizar diversos materiales para la tubería, ya fuese hierro galvanizado, pvc o bien manguera flexible. La ventaja del hierro galvanizado es su durabilidad, aunque es mucho más costoso, comparado con los otros materiales, por lo cual queda descartado. El uso de pvc es más práctico que el hierro galvanizado y más

barato. Sin embargo, por ser un material rígido, se tendrían en algunos segmentos de tubería ángulos rectos o, en el mejor de los casos, utilizando “codos” de ángulos mayores a 90° , se tendrían al igual cambios bruscos de dirección, lo que provocaría grandes pérdidas de energía; además, no es recomendable en instalaciones expuestas al sol, ya que se torna quebradizo por sufrir cristalización. Al utilizar manguera flexible, se tiene un material más barato comparado con los anteriores. Por otro lado, la manguera flexible es más versátil, por lo cual, en los cambios de dirección, se pueden obtener curvas lo bastante abiertas, como para tener pocas pérdidas de energía. Por último, su instalación es relativamente fácil.

En resumen, se utilizará manguera flexible conocida como manguera para pasar nivel de $\frac{3}{4}$ ” de diámetro, las cuales en los segmentos que se necesiten se unen con accesorios de hierro galvanizado y pvc. Todo lo mencionado anteriormente se debe a que dicho material tiene un menor costo y se adapta adecuadamente al diseño, tanto en instalación, funcionamiento y duración, como el que se ha propuesto en esta trabajo de graduación.

1.4 Ventajas y desventajas contra otros medios de generación

La energía hidroeléctrica en general, y su uso en particular, presenta ciertas ventajas y desventajas sobre otras fuentes de energía.

Entre las ventajas, se tienen:

- Es un recurso inagotable, en tanto el ciclo del agua perdure, por lo cual tiene alta disponibilidad.
- No requiere combustible, sino que usan una forma renovable de energía, constantemente repuesta por la naturaleza de manera gratuita. No emite gases

"invernadero" ni provoca lluvia ácida, es decir, que no contamina la atmósfera o el aire, por lo que, no hay que emplear costosos métodos que limpien las emisiones de gases. Tampoco contamina el agua de manera directa, ni el medio ambiente que en la actualidad es obligatorio cuidar y proteger.

- Debido a que produce trabajo a la temperatura ambiente, no hay que emplear sistemas de refrigeración o calderas, que consumen energía y, en muchos casos, contaminan, por lo que es más rentable en este aspecto.
- A menudo puede combinarse con otros beneficios, como riego, protección contra las inundaciones, suministro de agua, caminos, navegación y también ornamentación del terreno y turismo.
- Los costos de mantenimiento y explotación son bajos.
- Las obras de ingeniería necesarias, para aprovechar la energía hidráulica, tienen una duración considerable.
- La turbina hidráulica es una máquina sencilla, eficiente y segura, que puede ponerse en marcha y detenerse con rapidez y requiere poca vigilancia, y sus costos de mantenimiento, por lo general, son reducidos.

Sin embargo, también tiene desventajas:

- Las presas son obstáculos insalvables, por ejemplo, para salmones y otras especies, que tienen que remontar los ríos para desovar, se encuentran con murallas que no pueden traspasar.
- Se puede dar una contaminación del agua, debido a que el agua embalsada no tiene las condiciones de salinidad, gases disueltos, temperatura, nutrientes, y demás propiedades del agua que fluye por el río.
- Por otro lado, se tiene la privación de sedimentos al curso bajo, ya que los sedimentos se acumulan en el embalse y empobrece de nutrientes el resto del río hasta la desembocadura.
- Los costos de capital por kilovatio instalado son con frecuencia muy altos.

- El emplazamiento, determinado por características naturales, puede estar lejos del centro o centros de consumo y exige la construcción de un sistema de transmisión de electricidad, lo que significa un aumento de la inversión y en los costos de mantenimiento y pérdida de energía.
- La construcción lleva, por lo común, largo tiempo en comparación con la de las centrales termoeléctricas, Por lo que, se requiere una fuerte inversión y gran tiempo para su construcción.
- La disponibilidad de energía puede fluctuar de estación en estación y año con año.

2. COMPONENTES DEL SISTEMA Y SU INSTALACIÓN

A continuación, se describirán los componentes utilizados para el montaje del módulo demostrativo de generación eléctrica. Además, se enumerarán los pasos que se deben seguir para la instalación de los mismos, utilizando fotografías y gráficos.

En algunos casos, por diversas causas fue imposible la instalación de uno u otro dispositivo o componente, que se encontraba en el diseño original. Debido a lo anterior, se explicarán las razones, por lo que se dieron estos inconvenientes.

2.1 Tanque

El tanque utilizado para la elaboración de este proyecto es de 750 litros de capacidad. El tanque fue diseñado especialmente para su utilización en este proyecto, pues llena los requisitos pedidos por el diseño.

La forma del tanque es la de un cilindro en la parte inferior, un cono truncado en la parte superior y sobre ésta de nuevo, tiene forma de un cilindro con un radio bastante menor que su contraparte de la forma cónica.

Por otro lado, la turbina que se va a utilizar consta de dos entradas, por lo cual el tanque debía contar con el mismo número de salidas, para que el abastecimiento del caudal sea eficiente.

Por estas circunstancias dicho tanque se le debió maquinar una salida extra y un roscado posterior, en la empresa distribuidora del mismo, ya que en los diseños comerciales utilizados en residencias y en otros lugares los tanques tienen una sola salida de agua.

La capacidad del tanque de 750 litros ayuda a que se tenga agua de reserva el tiempo suficiente, para generar electricidad durante un lapso determinado, el cual es adecuado por tratarse de un sistema meramente demostrativo y de posterior estudio.

Cabe mencionar que las salidas de agua del tanque de abastecimiento tienen un diámetro de 1 ½ ", y su rosca es interna y se conoce como rosca hembra. Estas salidas de agua proporcionan un caudal funcional, respecto a las necesidades de la turbina generadora.

Para que el tanque fuese funcional, es decir, que tuviese la altura necesaria para aprovechar la energía potencial, se debió montar en una torre de aproximadamente cuatro metros de altura. En la figura 5, puede observarse el tanque de abastecimiento, la altura a la cual se encuentra, puede compararse con las ecuaciones siguientes y utilizando los datos obtenidos en el capítulo 4.

Dependiendo de la potencia requerida, así será la altura y caudal necesarios. El caudal que se utilizará será consecuente con el caudal requerido por la turbina.

$$P = \gamma QH$$

Donde:

P: Potencia (N*m/ s o Watt)

H: Altura hidráulica o de carga (m)

γ : Peso específico (N/m³) = 9800 N/m³ a 25° C y 1 atm.

Q: Caudal (m³/s) = Caudal de funcionamiento requerido por la turbina

Cuando ya se conoce la altura de carga (H), se tiene que buscar a cuánto equivale la cota topográfica (z), que en este caso es la altura de la torre. Para encontrar (z), se utiliza la ecuación de Bernoulli, que se presenta a continuación.

$$H = z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma}$$

Donde:

z: Cota topográfica (altura de la torre).

v: Velocidad del fluido

p: Presión a la que se encuentra el fluido.

g: gravedad.

Figura 5. Tanque de agua colocado sobre torre y con mangueras conectadas.



2.2 Tuberías, mangueras y válvulas de cierre

En vista de que el tanque tiene dos salidas de agua, las mangueras o tuberías deben tener también dos tramos de la misma longitud. Como se explicó al inicio del primer capítulo, se utilizarán únicamente mangueras y las tuberías fueron descartadas. Las mangueras vienen a reemplazar a las tuberías forzadas, que son utilizadas en la realidad.

Para poder acoplar las mangueras desde el tanque hasta la turbina, se debieron utilizar algunos accesorios, que aunque son mínimos, se tornaron imprescindibles.

A la salida del tanque de agua, se roscó un niple de hierro galvanizado de 1 ½ " de diámetro por 4" de longitud; la rosca del niple es externa.

Utilizando llaves Stilson y agregando teflón en cinta a la rosca del niple, ésta fue roscada al tanque. La cinta de teflón se utiliza con la finalidad de evitar fugas debido a la presión de agua en el interior del tanque.

Después de pasar de una rosca a interna en el tanque a rosca externa en el niple, se procedió a realizar una reducción de diámetro. No obstante, cuanto mayor sea el diámetro de una tubería, menor pérdida tiene, sin embargo, las entradas de la turbina tienen un diámetro inferior, comparadas con las salidas del tanque, por lo tanto, obligatoriamente se tiene que reducir el diámetro de la tubería en algún punto de su recorrido y se optó por hacerlo inmediatamente a la salida del tanque, para mantener un diámetro constante hasta la turbina. La reducción se hizo mediante un accesorio de hierro galvanizado, conocido como reductor campana que pasó el diámetro de la tubería desde 1 ½" en la entrada, hasta ¾" en la salida. Las roscas de este accesorio son ambas internas.

Luego de esta reducción, el siguiente paso es la instalación de las mangueras, las cuales no pueden ser colocadas de forma funcional directamente en el reductor tipo campana. Para acoplar las mangueras al reductor, se colocaron en ambos extremos de la manguera, adaptadores del tipo utilizado en poliductos. Estos acoples son hechos de pvc. Para fijarlos al reductor, tienen una rosca externa que se fija a la rosca interna del reductor. Además, para fijarlos a la manguera se inserta el otro lado a presión en el interior de la manguera y se fija con abrazaderas.

Como se mencionó en el capítulo inicial, las mangueras utilizadas son conocidas como manguera para pasar nivel. Las mangueras van desde las salidas del tanque, hasta las entradas de la turbina. Las líneas de manguera pueden dividirse en dos segmentos: la primera parte sale del tanque luego de la reducción y termina en una válvula de bola, y la segunda parte sale de la válvula y termina en una reducción a la entrada de la turbina.

El segmento de manguera, que parte desde el tanque, es la mayor y mide aproximadamente dos metros de longitud. Como se mencionó anteriormente, en el extremo de esta manguera, se colocó un adaptador para poliducto y la parte roscada de éste se acopla a continuación a una válvula de globo de $\frac{3}{4}$ "", como puede verse en la figura 7. Se utilizó este tipo de válvula, ya que es de las más seguras en el mercado y con ellas no se tienen pérdidas de energía demasiado altas. Además, son sencillas de abrir y cerrar, por lo cual es fácilmente regular un tipo de caudal.

Después de la válvula de bola, se tiene un niple también de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro por dos de largo, con lo cual se adaptarán las mangueras que a continuación se describirán.

Las mangueras, que van desde la válvula de bola hasta la entrada de la turbina, son diferentes a las que se encuentran en la salida del tanque, ya que las segundas tienen en sus extremos adaptadores para poliducto y las primeras acoples comunes para manguera

de jardín; la idea es utilizar estos últimos como acoples rápidos. Se desean acoples rápidos, ya que la turbina puede encontrarse en tres puntos diferentes de altura, y para cada altura se tienen diferentes longitudes de mangueras, que deberán quitarse y ponerse, según los requerimientos que se hagan. Las mangueras anteriormente mencionadas pueden observarse en la figura 8.

La salida de estas mangueras se acopla a un niple de hierro galvanizado de $\frac{3}{4}$ " de diámetro y dos de longitud, que a su vez se acopla a un reductor campana, que va de $\frac{3}{4}$ a 1 pulgada de diámetro. En este punto, estamos exactamente en la entrada de la turbina.

Lo anterior, sin tantos detalles, se puede resumir como a continuación se presenta: A la salida del tanque se tiene una rosca interna de 1 $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro, a la cual se le acopla un niple de rosca externa del mismo diámetro. Luego del niple, se utiliza un reductor campana de roscas internas que pasa de 1 $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ de pulgada. Para acoplar las mangueras al reductor campana, se utiliza un adaptador para poliducto. A continuación viene la manguera y otro adaptador para poliducto, donde se encuentra la válvula de bola, la cual se acopla a un niple. Después del niple viene otra manguera, la cual tiene acoples comunes para manguera de jardín. La manguera se une a otro niple y este último a un reductor campana que va de $\frac{3}{4}$ a 1 pulgada de diámetro, que tiene la entrada de la turbina. En total, se tienen dos mangueras largas desde las salidas del tanque, hasta las llaves de bola y seis mangueras más cortas, de diversos tamaños, que van desde las llaves de bola hasta las dos entradas de la turbina, en sus diversas posiciones de altura.

Para diferenciar de mejor manera las mangueras más cortas, se procedió a pintar las boquillas de cada una con diferentes colores, según la longitud de las mismas, por ejemplo, cuando se utiliza la turbina en el punto más bajo, las mangueras tienen boquillas azules. Con la turbina en la altura más alta, se tienen boquillas plateadas y las mangueras restantes tienen su color de fábrica, dorado.

En todas las uniones, se utilizó cinta de teflón para evitar fugas, exceptuando aquellas uniones donde se involucran las seis mangueras pequeñas mencionadas anteriormente, ya que esas mangueras se utilizan como acoples rápidos. En la figura siguiente, se puede observar el recorrido de las mangueras.

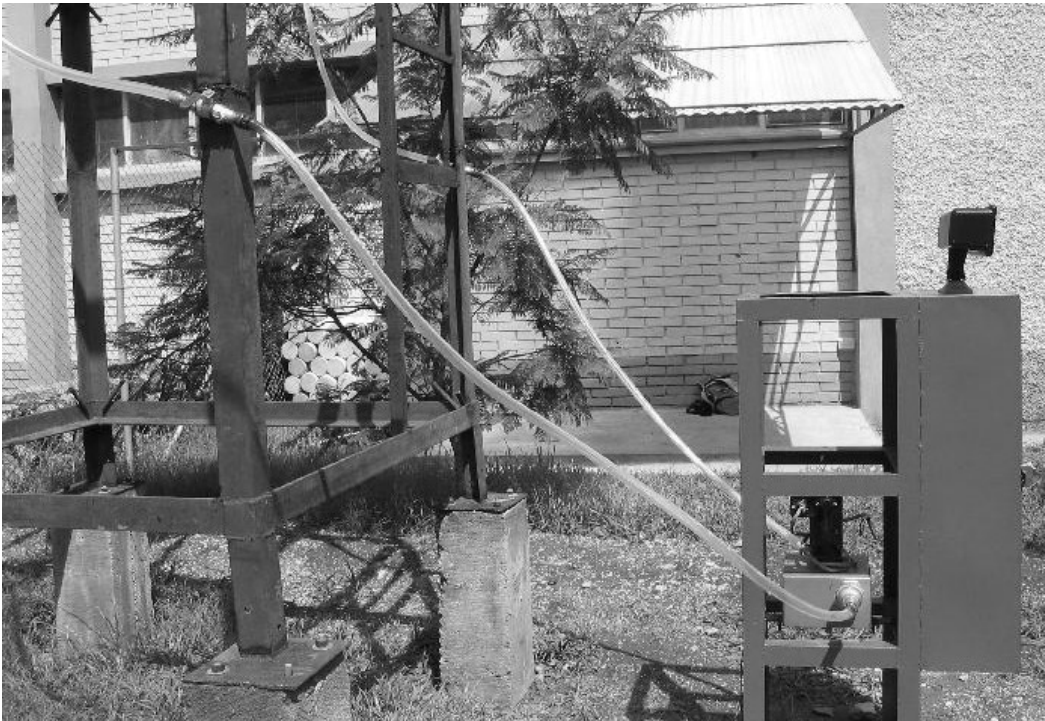
Figura 6. Recorrido de las mangueras desde el depósito de agua hasta la turbina.



Figura 7. Válvula de bola



Figura 8: Mangueras cortas, que van desde la llave de bola hasta la entrada de la turbina



2.3 Manómetro

En el diseño inicial, se consideró el uso de un manómetro, con la finalidad de medir la presión que se tenía en la entrada de la turbina. La presión que se tiene en ese punto está dada por la presión atmosférica, el nivel del agua en el tanque y la distancia, que es medida desde la salida del agua en el tanque al punto donde se encuentra la entrada de la turbina.

En vista de que la turbina puede ser movida en forma vertical, se tienen tres alturas en las cuales se puede llevar a cabo una medición. La distancia entre el punto más alto y el más bajo es de 80 centímetros, con lo cual la variación de la presión no es significativa y, además, puede obtenerse de forma sencilla. Por lo tanto, al llevar a cabo el diseño del proyecto, la compra e instalación de un manómetro no es funcional, debido a su poco uso y al bajo presupuesto con el que se contaba, por lo cual la idea de instalar este instrumento fue desechada.

2.4 Turbina-generador

La turbina que se utilizará es del tipo Pelton. Tiene dos entradas de agua puesto que; si tuviese una sola entrada, la turbina no tendría el impulso suficiente para generar energía eléctrica de una manera adecuada. Al tener dos entradas, puede decirse que una de ellas le da la fuerza para comenzar el movimiento (arranque) y la otra le proporciona la energía cinética necesaria para mantener una generación de energía adecuada y constante; en este caso, para mantener encendida una lámpara fluorescente. Cabe mencionar que la turbina en mención es de eje vertical, lo cual quiere decir que el agua

llega a la misma en forma horizontal y que el agua, luego de mover la turbina, tiene su salida hacia abajo.

Las turbinas Pelton trabajan convirtiendo la energía potencial del agua en energía cinética de rotación en su eje. Sin embargo, para propiciar el arranque de la misma y llegar a vencer la fuerza de fricción en el eje de la turbina se necesita un impulso extra, el cual viene dado por toberas. La turbina tiene dos toberas en cada una de las entradas, las cuales aumentan la velocidad del agua para que en el momento del impacto la ráfaga se dé de una forma más puntual. En la figura 10, se muestra una vista del conjunto turbina-generator.

La energía cinética de rotación, proporcionada por el agua a la turbina, hace girar al eje del generador que se encuentra acoplado directamente al eje de la turbina, y proporciona corriente directa. El generador se encuentra exactamente encima de la turbina, ya que la misma es de eje vertical.

Para la instalación de la turbina, se tuvo que construir una estructura metálica especial que llenara los requisitos de soporte y versatilidad. Con las características anteriores, se puede cambiar la posición de la misma de manera vertical, en forma relativamente sencilla. Los cambios de altura de la turbina permiten realizar pruebas para analizar el comportamiento del voltaje y la corriente en diferentes condiciones.

La estructura, en la cual se soporta la turbina, consta de tres niveles separados cuarenta centímetros uno del otro. La turbina va atornillada a la estructura metálica por medio de placas metálicas, las cuales pueden retirarse totalmente, para que pueda llevarse la turbina de un nivel a otro. La instalación de la turbina puede observarse en la figura 9. Para cambiar fácilmente de posición la turbina, se utilizaron tornillos con mariposas en lugar de tuercas ordinarias.

Figura 9. Diagrama de la posición, en la cual deben ponerse los tornillos para cambiar la turbina de posición.

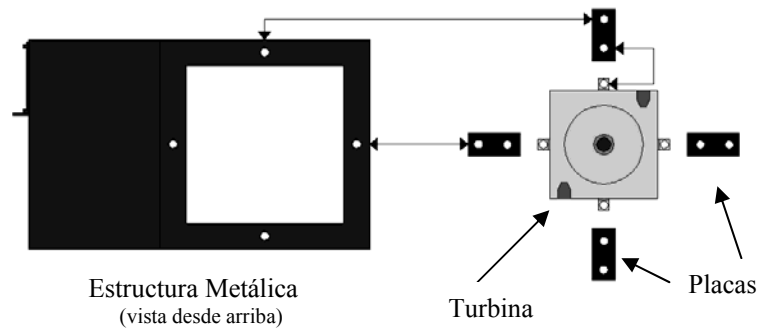
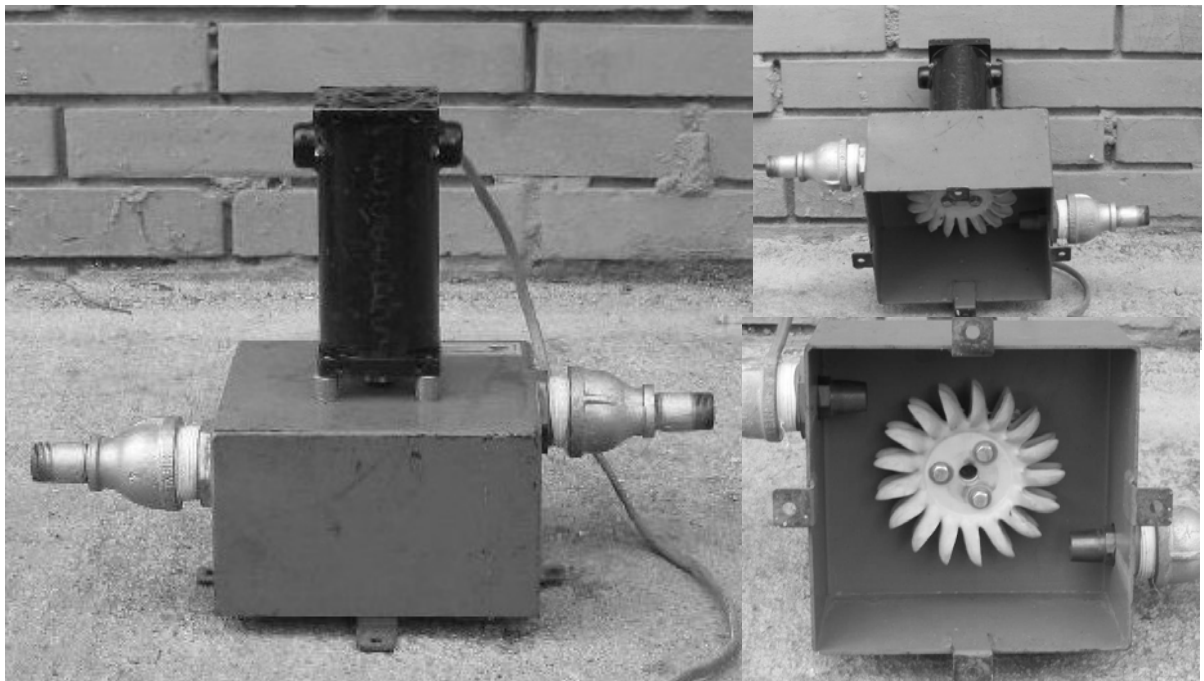


Figura 10. Turbina y generador. Vista del rodete de la turbina



2.5 Medidores de voltaje y amperaje

El medidor de voltaje y amperaje es un solo conjunto que viene acoplado "de fábrica" al generador por medio de cables. El medidor es una caja que contiene un voltímetro y un amperímetro análogos.

De la caja de este medidor o indicador, parten los cables por los cuales pasa la energía eléctrica a su punto final; en este caso, un reflector fluorescente.

La ventaja de utilizar "una caja" conjunta, en la que se presenta un voltímetro y un amperímetro, es evitar la inconveniencia de estar utilizando cualquier otro aparato externo y llevar a cabo lecturas por separado; primero, voltaje y luego amperaje y viceversa.

Los rangos en el cual puede registrarse alguna lectura en los instrumentos son los que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla I. Rangos que maneja el medidor de voltaje y amperaje.

	RANGOS DE MEDICIÓN	
	Voltaje (voltios)	Corriente (amperios)
Mínimos	0	0
Máximos	30	3

Antes de proceder con la instalación, se confirmó que este medidor se encontrara en buen estado. Para afirmar que el medidor era funcional, se llevaron a cabo

mediciones externas por medio de un multímetro y se compararon los registros de ambos. Cuando ambos registros fuesen los mismos, se confirmaría que el medidor que se encuentra acoplado al generador funcionaba; dicho medidor se encontraba defectuoso en la sección del voltímetro, por lo cual afectaba también al amperímetro y se tenía un mal contacto en el mismo, que impedía esporádicamente el paso de la corriente eléctrica, por lo cual se reemplazó el voltímetro y el amperímetro.

El medidor de voltaje y amperaje fue colocado en el interior de la estructura metálica que soporta a la turbina, en el estante de sección cajonada que está hecha de lámina metálica. Para fijar el medidor a ésta caja metálica, se utilizaron tornillos y tuercas, para que la misma quede fija, segura y protegida de los rayos del sol y la lluvia. En la figura 11, se puede apreciar el medidor de voltaje y amperaje.

Figura 11. Medidor de voltaje y amperaje



2.6 Regulador de voltaje

Por ser este sistema de generación de energía eléctrica por turbina, un sistema demostrativo y didáctico, no se considera obligatorio el uso de un regulador de voltaje.

En el diseño original, se contempló el empleo de un regulador de voltaje, pero, como la única aplicación existente es mantener encendida una lámpara fluorescente, únicamente incurre en un costo innecesario y poco eficiente. Lo anterior es debido a que se pensó en utilizar diversos objetos, para aprovechar la energía que proporcionaba el generador, un radio, un televisor, un foco, etc. Pero, al final, se decidió el uso de una lámpara fluorescente, la cual, aunque se afecta con la variación de voltaje, es totalmente funcional.

Utilizar un regulador de voltaje, cuando la única aplicación existente es mantener encendida una lámpara incandescente, únicamente incurre en un costo innecesario y poco eficiente.

2.7 Tanque y bomba de retorno

El propósito del uso de una bomba, en este proyecto, es para que el agua utilizada para generación eléctrica pueda recircularse y volverse a utilizar. La bomba que se va a instalar es del tipo sumergible y puede proveer desde 1693 litros/hora ($0.0005 \text{ m}^3/\text{seg}$), cuando la manguera de descarga se encuentra a 2.15 metros de la salida de la bomba y puede proporcionar un caudal de 5110 litros/hora ($0.0014 \text{ m}^3/\text{seg}$), cuando la manguera de descarga y la salida de la bomba se encuentra al mismo nivel. La bomba trabaja con 12 voltios y corriente directa. La fuente de poder para lograr que funcione la bomba,

proviene de una batería de corriente directa, de 12 voltios, la cual se carga por medio de paneles solares.

Por ser una bomba sumergible ésta se encuentra en el fondo de un pequeño recipiente de 90 litros (0.009m^3) de capacidad. Dicho recipiente se colocó en un agujero, para que, al recolectar el agua proveniente de la turbina ésta llegue al mismo por gravedad. Por otro lado, con la finalidad de que este recipiente pueda limpiarse, se encuentra parcialmente sobre el nivel del suelo (aproximadamente 5 cm), para que pueda extraerse de su ubicación fácilmente. En la siguiente figura, se puede observar el recipiente de recolección y la bomba utilizados.

Figura 12. Bomba en el interior del recipiente que se utilizará como tanque de recolección



Debido a que la bomba no tiene un *switch* automático para accionarla cuando el nivel de agua así lo requiera, se utiliza un *switch* común para accionamiento manual. Por otro lado, el cable utilizado, para unir los cables propios de la bomba con las terminales de la batería, es de calibre 16. La distancia que cubre el cableado es de unos 7 metros, por lo que utilizar un calibre de cable menor, aunque resultaría más barato, traería caídas de voltaje y un bajo rendimiento de la bomba. Para proteger la bomba de una sobrecorriente, se debe instalar un fusible, según el tipo de bomba y la fuente de poder; en este caso el fusible que se va a utilizar es de 9 amperios y se coloca en el cable de

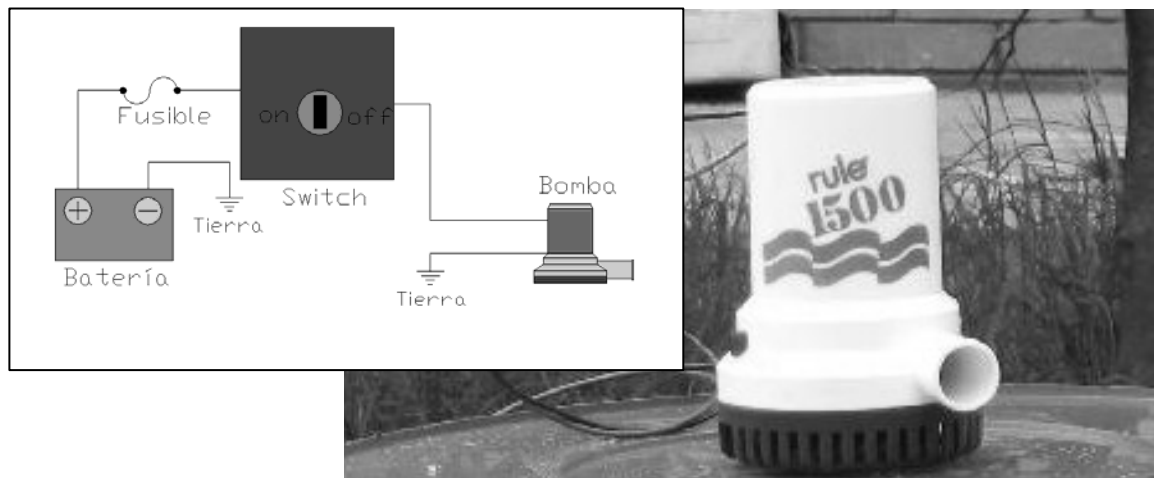
polaridad positiva. Además, debido a que el cable se encuentra a nivel del suelo y al aire libre, se protegió del medio ambiente cubriéndolo con tubería de pvc y poliducto.

Para finalizar, en la salida de la bomba se colocó una manguera flexible (manguera para pasar nivel) de una pulgada de diámetro. Aunque las especificaciones de la bomba requerían una manguera de $1 \frac{1}{8}$ de pulgada de diámetro, no se encontró de ese tipo en el comercio nacional.

Al instalar todo el sistema de la bomba, se comprobó que la capacidad de la misma no cumplía con los todos requerimientos. Para lograr recircular el agua, ésta debe subir a cuatro metros de altura, pero la bomba únicamente puede elevar el agua a aproximadamente 2.20 metros. Por lo tanto, el agua no se recirculará, sino que, se utilizará para un sistema de riego. En la figura 13, se puede observar la bomba y el diagrama de instalación.

Para captar el agua a la salida de la turbina se utiliza un embudo, mangueras y un canal hecho de tubo de pvc.

Figura 13. Bomba de retorno y diagrama de instalación



2.8 Lámpara

Para demostrar la generación eléctrica por turbina hidráulica, se utilizará la energía producida para hacer funcionar una lámpara fluorescente o reflector OMEGALUX de 12 voltios de corriente directa, que puede suministrar una potencia de 36 watts.

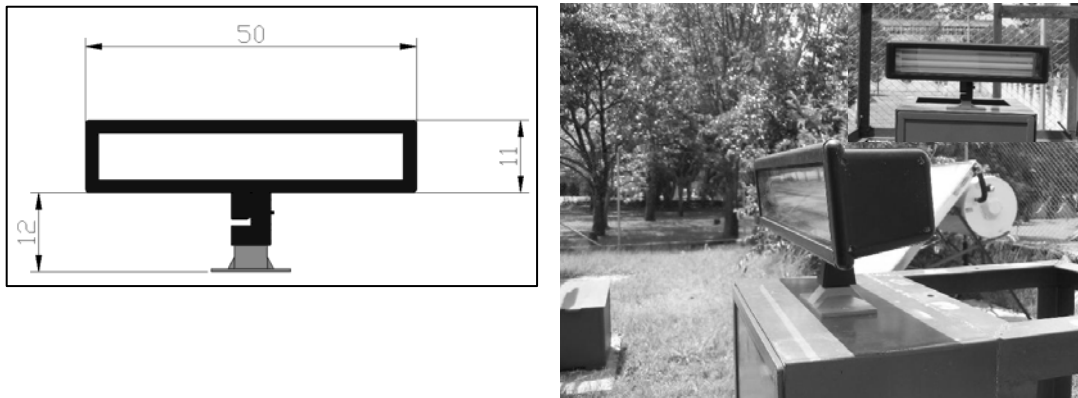
El reflector es rectangular, aproximadamente de 50 cm de ancho por 11 cm de alto. En la figura 14, aparece el reflector utilizado y sus medidas. En su base, tiene una unión metálica roscada, el cual debe ser unido a una rosca interna en el momento de fijar la lámpara.

Por decirlo de alguna manera, la lámpara fluorescente es el componente principal del sistema; todas las otras partes trabajan para el funcionamiento de esta. Si la lámpara fluorescente no encendiera, no puede demostrarse que existe generación eléctrica por parte de la turbina, por lo menos a simple vista, ya que nada estaría aprovechando dicha energía.

La lámpara fluorescente se instaló sobre la estructura que sostiene a la turbina. Para asegurarla de buena manera, se atornilló una base metálica a la estructura de la turbina. Hecho lo anterior, se roscó la base del reflector a la base metálica.

Por otro lado, luego de ser instalada a la lámpara, se le puede variar el ángulo al cual se encuentra respecto a su base. Para variar el ángulo, al cual se dirige el reflector, únicamente debe aflojarse un tornillo que se encuentra en su base, mover el reflector a la posición deseada y luego apretar el tornillo que se mencionó. El reflector se instaló a 90° respecto de su base, simplemente por estética.

Figura 14. Vista de frente, lateral del reflector y medidas del reflector, dadas en centímetros.



2.9 Conexiones eléctricas

Del generador: existen diversas conexiones eléctricas que parten del generador. La energía eléctrica parte del generador hacia el medidor del voltaje y amperios y de este punto a la lámpara fluorescente. Para transportar la electricidad, se tienen cables eléctricos de calibre 16, que soportan una temperatura máxima de 105° C. en el generador y el medidor. La lámpara utiliza cable TEWN con recubrimiento termoplástico para poca tensión y resistente a poca humedad calibre 18 AWG que puede soportar 600 voltios en el cable del negativo y en el cable del positivo 1000 voltios; ambos soportan una temperatura máxima de 105° C.

De la bomba: para accionar la bomba, se necesita una batería de corriente directa de 12 voltios. La conexión eléctrica se tiene desde una batería que se encuentra en el módulo de energía solar hasta el punto en el cual se encuentra la bomba. Los cables utilizados para el efecto son TEW (con recubrimiento termoplástico y resistente a poca

humedad) calibre 16 AWG, que puede soportar 600 voltios una temperatura máxima de 105° C.

Para unir todos los cables mencionados, se utilizaron cables paralelos de calibre 16. Además, todas las uniones que se hicieron se aislaron con cinta.

2.10 Características del fluido

El fluido de trabajo utilizado, en este caso, es agua común. El agua con la cual se llena el tanque es tomada directamente de la red hídrica de la universidad, proporcionada por la Municipalidad de la ciudad de Guatemala. En la siguiente figura, se puede apreciar el aspecto del agua utilizada para el funcionamiento del módulo.

Figura 15. Agua utilizada para mover los álabes de la turbina.



El agua municipal que se distribuye, en la Ciudad Universitaria, tiene en promedio las características que se presentan en las siguientes tablas.

Tabla II. Características físicas presentadas en el agua de la red hídrica de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Aspecto	Claro
Olor	Inodora
PH	7.70 unidades
Temperatura	22° C

Tabla III. Sustancias químicas en el agua de la red hídrica de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Sustancia	mg/L	Sustancia	mg/L	Sustancia	mg/L
Amoniaco (NH₃)	0.22	Sulfatos (SO⁻²₄)	0.10	Sólidos en suspensión	2.00
Nitritos (NO₂⁻)	0.00	Hierro total (Fe)	0.04	Sólidos disueltos	150.00
Nitratos (NO₃⁻)	0.44	Dureza total	136.00	Calcio	24.05
Manganeso (Mn)	0.03	Sólidos totales	161.00	Sodio	20.60
Cloruros (Cl)	16.00	Sólidos volátiles	12.00	Potasio	1.10
Fluoruros (F⁻)	0.36	Sólidos fijos	149.00		

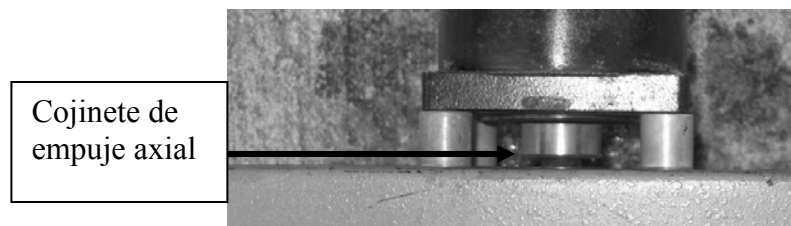
3. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

3.1 Turbina

Las turbinas hidráulicas, por ser máquinas complejas, están bajo la acción de elevados esfuerzos mecánicos, lo que puede dar origen a rozamientos, agarrotamientos, etc. Además, al estar supeditadas a la influencia directa del agua, tienen que soportar efectos hidráulicos desfavorables para su correcto funcionamiento, como erosiones, corrosiones, etc. Así mismo, ha de tenerse en cuenta el efecto abrasivo que ejerce la suciedad contenida en el agua, sobre las piezas situadas en su camino. A continuación, se mencionarán los puntos importantes de mantenimiento:

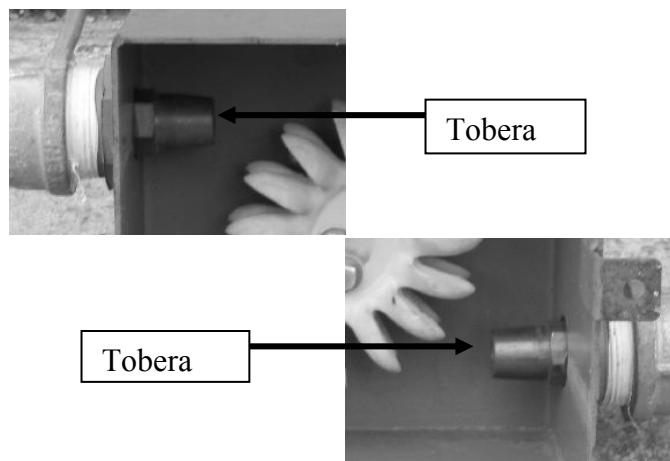
- Se debe comprobar, por lo menos una vez al mes, el engrase del cojinete de empuje del eje principal. Es recomendable cambiar este cojinete una vez al año. Al cambiar el cojinete se debe balancear la turbina para comprobar que se ha cambiado correctamente el mismo y no se produzca vibración ni esfuerzos indeseables. Este cojinete también está expuesto al agua, por lo que no sólo los impactos del agua van reduciendo su vida útil, sino también factores de oxidación y corrosión. En la figura 16, se puede observar el cojinete de empuje axial y su ubicación en la turbina.

Figura 16. Cojinete de empuje axial de la turbina.



- Revisar constantemente que las aspas giran libremente y no haya ningún objeto alrededor o cerca de ellas, que pueda ocasionar pérdida de potencia. Se deben limpiar con un lienzo sin usar solvente, que pueda dañar el plástico o deteriore los álabes.
- Revisar la carcasa de la turbina, para determinar posibles fugas de agua entre la carcasa y el eje de la turbina en el lado del generador eléctrico. Esto evitará el daño prematuro del eje y el cojinete de empuje.
- Revisar por lo menos una vez al mes las toberas y limpiarlas cuando sea necesario, para evitar que partículas extrañas se incrusten en las mismas y se pierda caudal. Esto se debe hacer, tanto en el lado de las paletas como también en el lado de la carcasa. Además se debe recordar que los álabes de la turbina no están diseñados para soportar el golpe de partículas extrañas que acompañen al agua. Por esta razón, el tanque debe limpiarse periódicamente para evitar que partículas extrañas como arenas y otros que acompañan la lluvia lleguen directamente a los álabes de la turbina. En la siguiente figura, se pueden observar las dos toberas de la turbina.

Figura17. Tobera izquierda y derecha de la turbina.



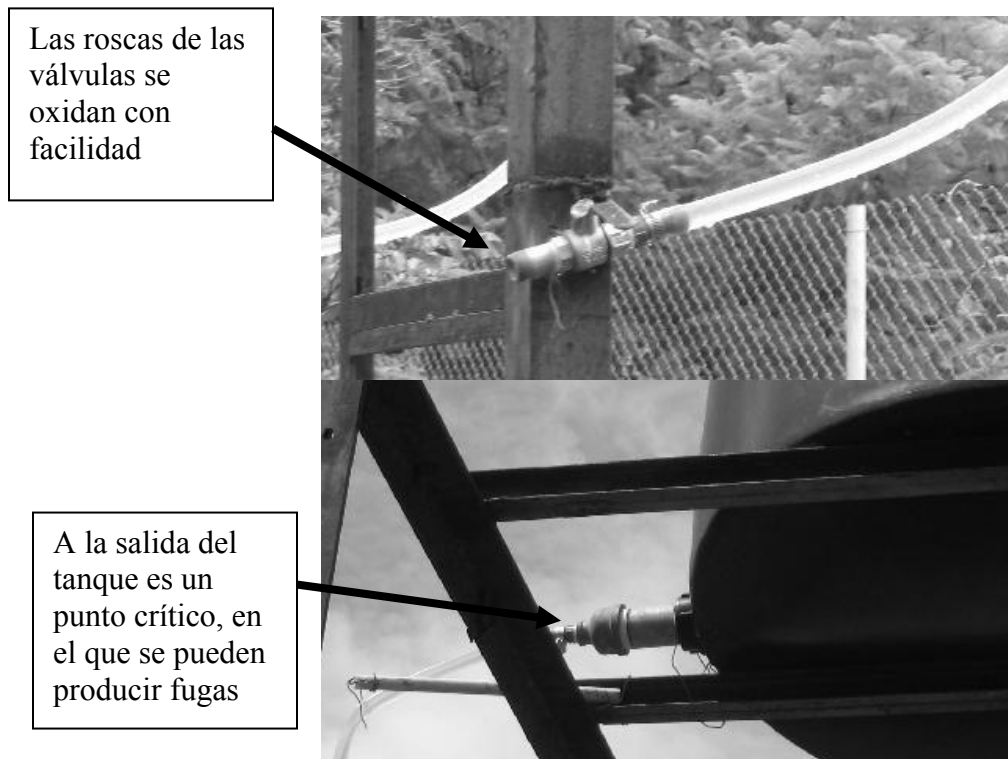
- Revisar periódicamente el estado de los álabes, para determinar posibles fisuras y desgaste abrasivo sobre los mismos. Además se debe revisar que el conjunto de álabes se encuentre debidamente acoplado a la base y no exista juego, ya que esto provocaría pérdida de eficiencia de la turbina y se perdería el requisito de flujo tangencial sobre los álabes a la salida de las toberas.
- Se debe revisar, por lo menos una vez cada tres meses, la estructura sobre la que está instalada la turbina. La turbina se encuentra fija por medio de cuatro placas que se unen a través de tornillos y mariposas a una estructura con dimensiones ligeramente superiores a la de la base de la turbina. Los puntos de sujeción de las placas se encuentran en constante contacto con el agua y se oxidan con facilidad, por lo que se debe remover periódicamente el óxido producido en estas zonas, ya que es necesaria la movilización de la turbina sobre las distintas bases de la estructura. La figura 18 señala áreas con óxido, a través de las placas que soportan la turbina. Al igual que en los puntos de sujeción, se debe remover el óxido de los tornillos y las mariposas, además de los agujeros sobre las placas. Se debe recordar que el agua sobre la estructura no sólo provoca puntos de oxidación, sino también puntos de corrosión al depositarse el agua de la lluvia en ciertas zonas.

Figura 18. Puntos de oxidación en la estructura de la turbina.



- Remover por lo menos una vez al mes, el óxido producido en uniones de rosca, que se encuentran en niples, reductores, válvulas y mangueras. Esto se puede realizar fácilmente con un cepillo de alambre o una lija y se puede agregar una capa delgada de pintura anticorrosiva, luego de limpiar la superficie. La figura 19 muestra la rosca de una de las válvulas; esta rosca se oxida frecuentemente lo cual dificulta roscar la manguera.
- Revisar fugas a través de toda la instalación hidráulica. Desde la salida de agua en el tanque, hasta la entrada de agua en la turbina, es importante revisar posibles fugas en los siguientes puntos:
 - Niples y reductores a la salida del tanque.
 - Roscas de las mangueras por las que baja el agua.

Figura 19. Puntos de oxidación y fugas en el sistema.

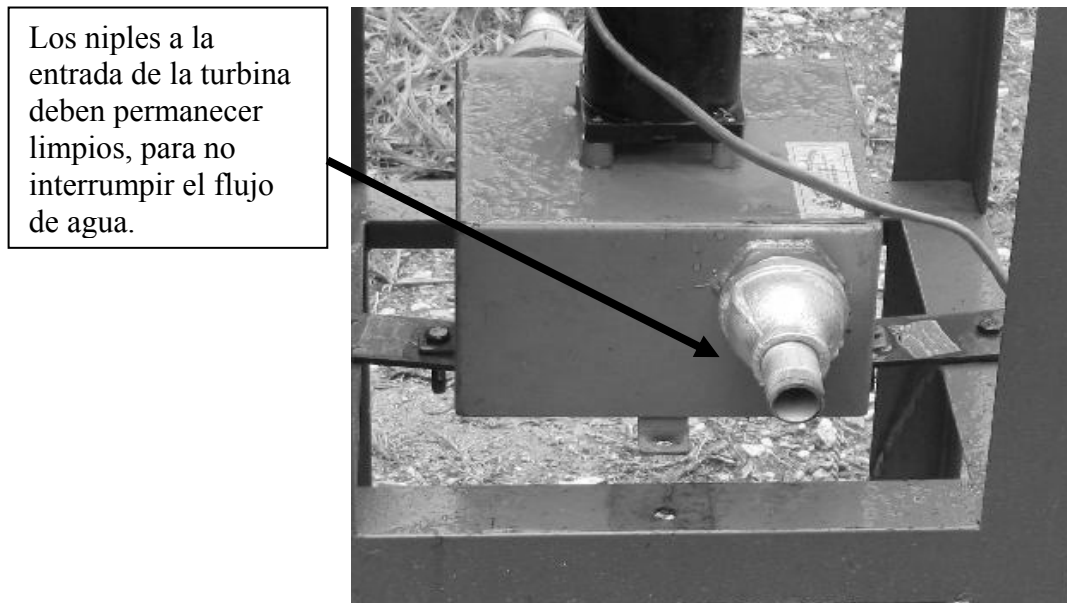


- Roscas y válvulas de paso de agua.
- Válvulas y niples de salida.
- Niples de salida y mangueras que se conectan a la turbina.
- Mangueras y niples que se conectan a las entradas de la turbina.
- Niples y reductores en la turbina.
- Hembras para roscar acopladas a las mangueras.

En las mangueras, se debe revisar que los empaques no se encuentren rotos o desgastados, ya que producirían fugas significativas para el sistema. Se deben limpiar periódicamente para evitar posibles obstrucciones al flujo de agua.

Se deben limpiar las válvulas y niples en todo el sistema, los cuales dan paso al agua; para esto, se puede utilizar un cepillo plástico pequeño para remover arena y otros elementos pequeños que interrumpen el flujo. En la siguiente figura, se observa uno de los niples a la entrada de la turbina.

Figura 20. Accesorios que deben limpiarse.



En cuanto al generador eléctrico, se debe proporcionar lubricación adecuada a los cojinetes; además la máquina debe conservarse limpia y seca. Este generador se encuentra protegido por una cubierta fabricada con material impermeable, con el objetivo de protegerlo contra la lluvia. Siempre que se deja de utilizar el módulo, se debe revisar que la cubierta esté bien colocada y que no tenga ningún daño que permita el paso de agua.

Los carbones deben ser inspeccionados periódicamente en cuanto a conmutación, capacidad de deslizamiento, libertad de movimiento en los portacarbones, presión y longitud.

En vista de que los cuellos del conmutador no están aislados y reciben voltaje pleno, el polvo conductor, proveniente del desgaste de los carbones o del aire de ventilación, puede provocar corrientes de conducción superficial entre los elevadores y tierra sobre superficies aisladas. Para evitar esto, el generador de corriente directa debe ser limpiado y soplado con aire seco y limpio a intervalos regulares; no deben usarse presiones mayores que 25 lb/in², por el riesgo de levantar los bordes de la cinta de aislar. La figura 21 es una vista lateral del generador eléctrico.

Figura 21. Generador eléctrico.



Se debe hacer una inspección en la vibración del conjunto turbina – generador, ya que esto puede provocar chisporroteo y quemaduras en las barras. Cuando esto suceda y necesiten reemplazo los carbones, se deben elegir carbones que sean del mismo tamaño.

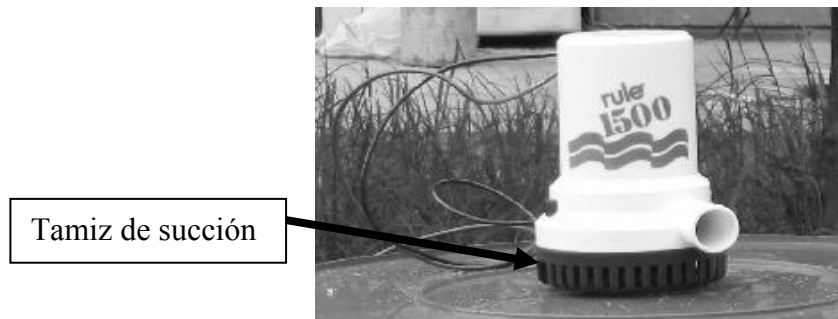
Se debe pintar la carcasa, tanto del generador eléctrico como de la turbina, ya que esto ayudará a proteger en forma más efectiva de la lluvia.

3.2 Bomba

La bomba utilizada es una bomba tipo sumergible, por lo tanto, la succión siempre debe permanecer libre de objetos que impidan la aspiración adecuada del agua. La figura 22 muestra la bomba y el tamiz de succión en la parte inferior de la misma. A continuación, se mencionan los puntos importantes de mantenimiento:

- Limpiar constantemente la parte exterior e interior del tamiz de succión. Para poder llevar esto a cabo, se debe desensamblar el tamiz de la bomba .
- Se debe limpiar, por lo menos una vez al mes, la manguera de descarga. Para realizar esta operación, se debe desconectar la manguera y hacer una inspección visual.

Figura 22. Tamiz de la bomba sumergible.



- Se debe revisar por lo menos una vez al mes, la condición de la batería o baterías. Los puntos que se toman en cuenta son los siguientes:
 - Revisar el nivel de líquido de la batería.
 - Revisar que la carga de la misma es la necesaria para la bomba.
 - No utilizar otro tipo de agua para nivelar la batería, sólo agua destilada.
 - Limpiar las terminales para eliminar contenidos de suciedad acumulada.
 - Mantener la batería limpia y seca.
 - Verificar que se tiene una buena ventilación, para evitar acumulación de gases tóxicos nocivos para la salud.
 - No tocar la batería con objetos metálicos, que puedan causar un corto circuito.

- Se deben revisar los cables conectados en las terminales de la batería, así como los empalmes en los cables de la bomba. Determinar puntos de corrosión y verificar que esté protegida en toda la trayectoria, desde la batería hasta la conexión de la bomba.

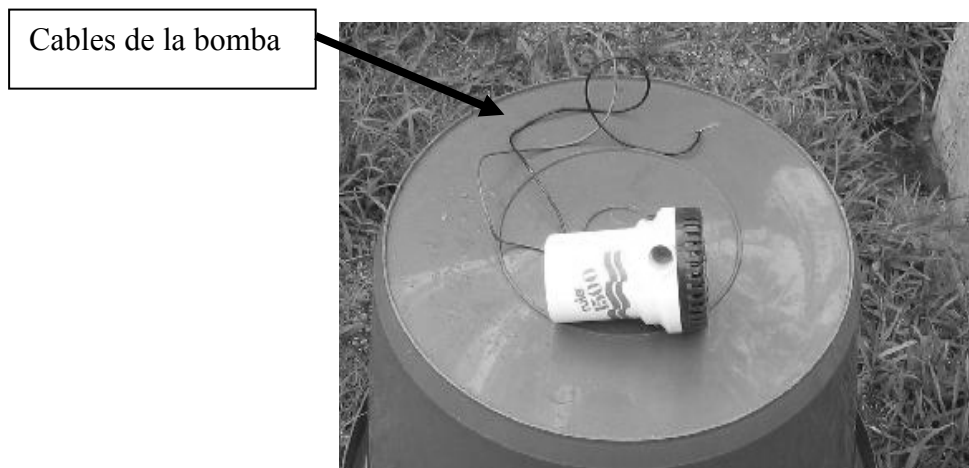
- Cada vez que se utilice la bomba, se debe revisar que la manguera de descarga no esté doblada ni roscada, ya que esto podría causar serios daños en el equipo.

- Revisar las conexiones eléctricas, para determinar si hay corrosión presente; una inspección visual no es suficiente. Se deben desconectar los cables y verificar que realmente hay buen contacto entre ellos y la bomba. Ningún empalme entre cables puede estar bajo el agua, a menos que tenga una muy cuidadosa protección.

- Revisar constantemente que el fusible se encuentra en buen estado. Se debe recordar que la capacidad del fusible está en función de los galones por minuto y en función del voltaje de la batería.

- Revisar constantemente el interruptor de la bomba. Si por algún motivo, este interruptor es atacado por el agua, pueden corroerse los contactos y cables, con lo cual no habrá un paso adecuado de corriente.
- Realizar una limpieza al tanque, siempre que se vaya a utilizar la bomba, para evitar que objetos extraños y basura obstruyan el rodete de la bomba.
- Revisar los sellos contra agua de la bomba. Para evitar cualquier daño en la misma, se deben revisar constantemente las entradas de los cables eléctricos en la bomba.
- Revisar que el aislamiento de los cables no se haya fundido. Por sobrecalentamiento de la bomba, en determinadas circunstancias, el aislamiento del cable puede fundirse y quedar expuesto al agua. La siguiente figura muestra la bomba y sus respectivos cables de corriente.

Figura 23. Cables de la bomba sumergible.



Antes de utilizar el sistema de riego y que la bomba sea puesta en marcha, se debe limpiar el recipiente de riego para evitar que la bomba succione la suciedad del tanque. La figura 24 muestra el recipiente del sistema de riego limpio.

Figura 24. Recipiente del sistema de riego.



3.3 Regulador de voltaje

No se utilizó regulador de voltaje, ver apartado 2.6.

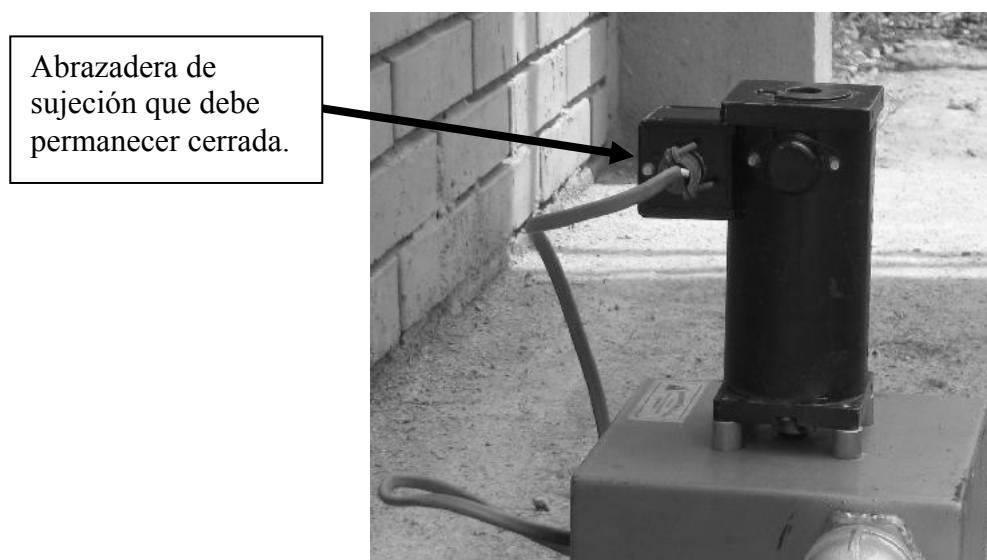
3.4 Medidores de voltaje y amperaje

El equipo eléctrico utilizado merece especiales cuidados; esto debido a que se encuentra conectado al generador y al consumo de energía, que en este caso es la lámpara.

- Se deben revisar periódicamente los cables a la salida del generador eléctrico; una inspección visual es suficiente para determinar el estado de los mismos.

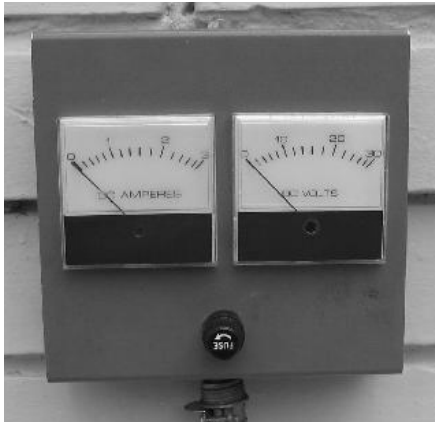
Estos cables poseen una pequeña abrazadera de sujeción, la cual debe permanecer cerrada para evitar que el agua haga daño en los contactos y el cable. En la figura 24, se observa la abrazadera de sujeción de los cables a la entrada del generador, sobre los laterales posee dos tornillos para ajustarla.

Figura 24. Abrazadera de los cables del generador eléctrico.

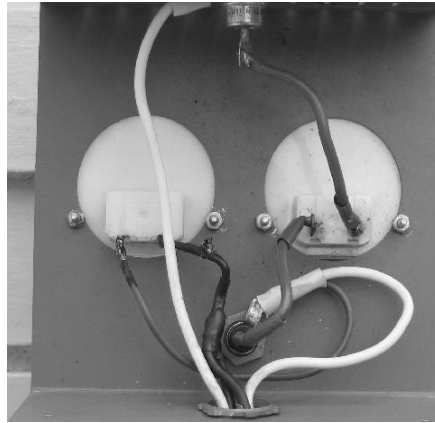


- Revisar que el fusible del multímetro se encuentre en buen estado.
- Revisar los empalmes hechos entre el generador eléctrico y el multímetro.
- Revisar que tanto el voltímetro como el amperímetro están bien calibrados y si proporcionan lecturas confiables. Esto se puede comprobar al utilizar un multímetro móvil, comparando lecturas y determinando si coinciden.
- Revisar al menos una vez al año las conexiones dentro del multímetro. Se debe hacer una inspección del aislamiento y los puntos de soldadura que se encuentran dentro. La figura 25 muestra una vista interior y exterior del multímetro; en la vista interior, se puede observar la conexión entre el voltímetro y el amperímetro, además de la que existe con el fusible.

Figura 25. Multímetro.



Calibrar el multímetro cuando sea necesario

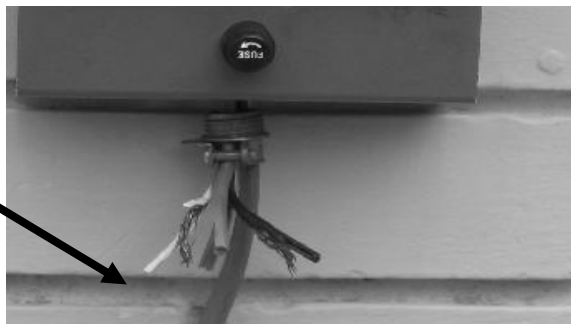


Empalmes y soldaduras debe ser revisados.

- Revisar los cables que conectan al multímetro, lámpara y generador eléctrico. En la figura 26, se pueden observar los cables que conectan al generador eléctrico; paralelamente a estos se observan los cables que suministran energía a la lámpara. Se deben revisar empalmes y aislamientos. Se debe limpiar con un lienzo de tela la lámpara, para que ésta no pierda luminosidad debido a la suciedad. Además se deben revisar las conexiones eléctricas de la lámpara, lo cual es debido a que ésta está constantemente expuesta al agua y la corrosión puede provocar falsos contactos y hasta la interrupción total de la corriente.

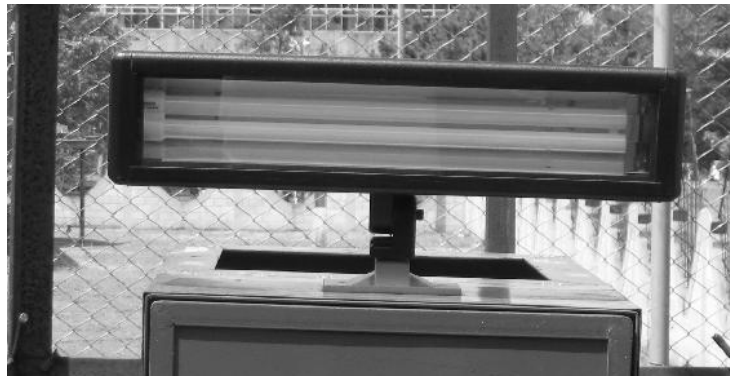
Figura 26. Empalmes del multímetro.

Inspeccionar los cables, ya que pueden ser puntos de corrosión y podrían interrumpir la continuidad de la corriente.



- El balastro de la lámpara se debe reemplazar cada vez que la lámpara presente fallas en el encendido. En la siguiente figura, se muestra la lámpara del sistema que se encuentra instalada sobre la estructura que soporta la turbina.

Figura 27. Lámpara del sistema.



4. DATOS DE OPERACIÓN SEGÚN VARIABLES

4.1 Caudal

Para obtener los datos que a continuación se presentan, se realizaron diferentes pruebas con un caudal diferente de agua. Hay que recordar que el tanque tiene dos salidas, y la misma cantidad de entradas que tiene la turbina. En las pruebas que se realizaron, se observaron cambios en el voltaje, así como en la corriente, cuando:

- las dos válvulas permanecían abiertas;
- se cerraba alguna de ellas y
- cuando se cerraba parcialmente una válvula.

Para obtener los caudales, se llenó un recipiente cilíndrico y se midió el tiempo de llenado, en las diversas condiciones anteriormente mencionadas.

El recipiente utilizado, para el aforo volumétrico, fue una cubeta de 30.4 centímetros de diámetro y una altura aproximada de 40 centímetros.

El volumen se calculó de la siguiente manera:

$$V = \pi r^2 h$$

donde $\pi = 3.1415926254$

r = es el radio del recipiente (15.2 cm)

h = altura a la cual llegó el agua en el recipiente (variable)

Los datos para el caudal se dividen en dos partes. Se midió el caudal, cuando el tanque se encontraba lleno (figura 28) y cuando este mismo se encontraba a la mitad de su capacidad (figura 29). Existen entonces seis diferentes caudales, con los cuales se llevaron a cabo pruebas. Los resultados obtenidos fueron los mostrados en las tablas IV y V:

Figura 28. Tanque lleno de agua.

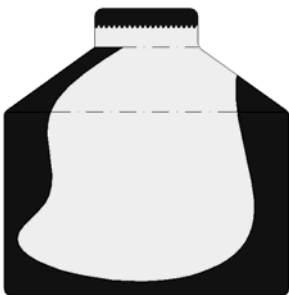


TABLA IV. Datos para calcular el caudal, con tanque lleno.

	h (cm)	Tiempo (seg)	Caudal (m³/seg)
Dos válvulas abiertas	26.5	12.30	0.0016
Una válvula abierta	25.7	22.71	0.0008
Una válvula abierta a la mitad	15.8	21.03	0.00055

Figura 29. Tanque a la mitad de su capacidad.



Tabla V. Datos para calcular el caudal, con tanque a la mitad de su capacidad.

	h (cm)	Tiempo (seg)	Caudal (m³/seg)
Dos válvulas abiertas:	22.7	11.20	0.00147
Una válvula abierta:	11.0	10.60	0.00075
Una válvula abierta a la mitad:	8.51	12.13	0.00051

Se utilizó el metro como unidad de medida; todo lo que se encontraba en centímetros se convirtió en metros.

Existen tres diferentes posiciones verticales, en las cuales se puede ubicar la turbina, para comparar el aprovechamiento de la energía potencial que el agua le proporciona.

A continuación, en las tablas, de la VI a la XI, se compara el voltaje y la corriente que se obtuvieron, utilizando diferentes caudales. Además se presentan las figuras 30, 31

y 32, para que se tenga un mayor entendimiento sobre la posición entre el tanque y la turbina.

4.1.1 Pruebas con la turbina en su posición superior

Figura 30. Altura desde el tanque hasta la turbina, cuando ésta se encuentra en su parte más alta.

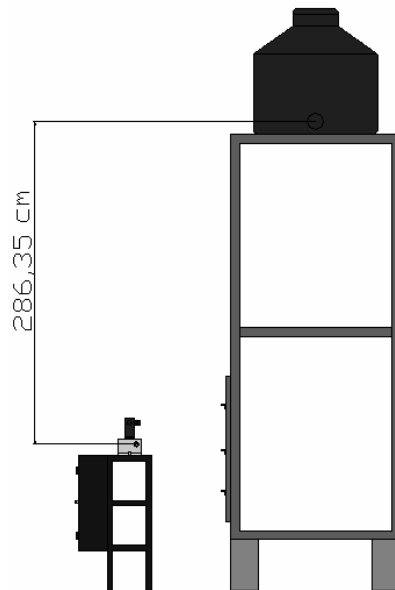


Tabla VI. Datos obtenidos con el tanque lleno de agua y con la turbina en la posición que se muestra en la figura 30.

Caudal (m ³ /seg)	Voltaje (V)	Corriente (Amp)	Funcionamiento del reflector
0.0016	7.9	0.45	Sí enciende
0.00082	7.9	0.24	No enciende
0.00055	30	0	No enciende

Tabla VII. Datos obtenidos con el tanque a la mitad de su capacidad y con la turbina, en la posición que se muestra en la figura 30.

Caudal (m³/seg)	Voltaje (V)	Corriente (Amp)	Funcionamiento del reflector
0.00147	7.7	0.43	Sí enciende
0.00075	7.7	0.23	No enciende
0.00051	27.5	0	No enciende

4.1.2 Pruebas con la turbina en su posición intermedia

Figura 31. Altura desde el tanque hasta la turbina, cuando ésta se encuentra en la sección intermedia.

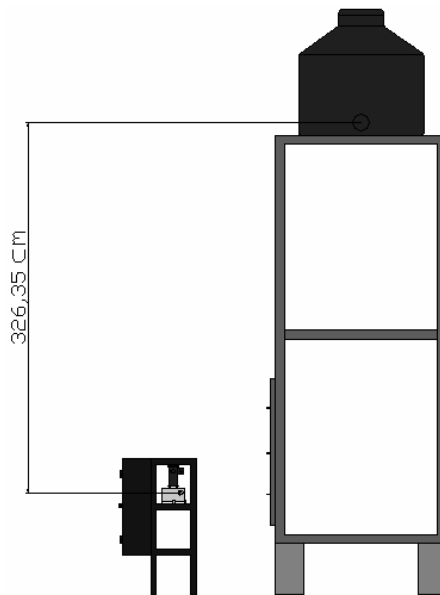


Tabla VIII. Datos obtenidos con el tanque lleno de agua y con la turbina, en la posición que se muestra en la figura 31.

Caudal (m³/seg)	Voltaje (V)	Corriente (Amp)	Funcionamiento del reflector
0.0016	7.9	0.52	Sí enciende
0.00082	7.9	0.28	No enciende
0.00055	30	0	No enciende

Tabla IX. Datos obtenidos con el tanque a la mitad de su capacidad y con la turbina, en la posición que se muestra en la figura 31.

Caudal (m³/seg)	Voltaje (V)	Corriente (Amp)	Funcionamiento del reflector
0.00147	7.8	0.47	Sí enciende
0.00075	7.8	0.27	No enciende
0.00051	27.5	0	No enciende

4.1.3 Pruebas con la turbina en su posición inferior

Figura 32. Altura desde el tanque hasta la turbina, cuando ésta se encuentra en la posición inferior.

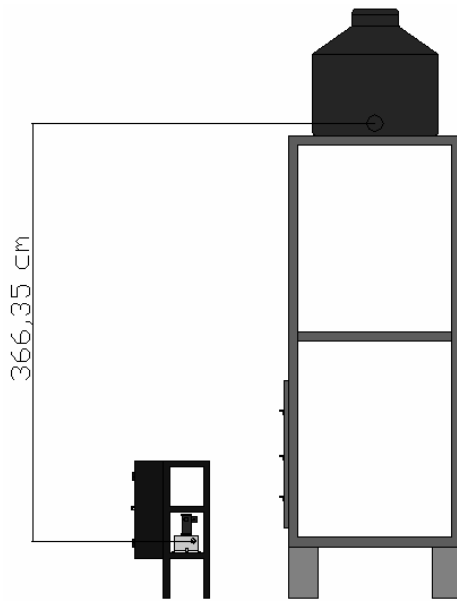


Tabla X. Datos obtenidos con el tanque lleno de agua y con la turbina, en la posición que se muestra en la figura 32.

Caudal (m³/seg)	Voltaje (V)	Corriente (Amp)	Funcionamiento del reflector
0.0016	7.9	0.59	Sí enciende
0.00082	7.9	0.32	No enciende
0.00055	30	0	No enciende

Tabla XI. Datos obtenidos con el tanque a la mitad de su capacidad y con la turbina en la posición que se muestra en la figura 32.

Caudal (m³/seg)	Voltaje (V)	Corriente (Amp)	Funcionamiento del reflector
0.00147	7.8	0.52	Sí enciende
0.00075	7.8	0.30	No enciende
0.00051	27.5	0	No enciende

Para que se ilumine el reflector con la menor cantidad de caudal, deben abrirse ambas válvulas al inicio y cerrar una de ellas aproximadamente, hasta tener un 20% del caudal que pasa por esa válvula. Con un porcentaje menor de 20% en la segunda válvula, aproximadamente, el foco se apagará.

4.2 Presión

La presión en el fondo del tanque influye en el rendimiento de generación, ya que a mayor altura de nivel de agua en el tanque, se tendrá mayor presión en el sistema, con lo cual el agua golpeará con mayor fuerza los álabes de la turbina, y producirá una mayor generación eléctrica. Para obtener las presiones que se tienen en el fondo del tanque, se debe sumar a la presión atmosférica la presión hidrostática. Para conocer la presión en el fondo del tanque, cuando éste se encuentra lleno y cuando está a la mitad de su capacidad, se utilizó la siguiente ecuación:

$$P = P_{atm} + \gamma h$$

Donde:

P = Presión total en el fondo del tanque

P_{atm} = Presión atmosférica a la altura snm de 5000 pies (1500m) = 84.34 kPa

γ = Peso específico del agua a 23° C = 9.78064 kN/m³

h = Altura desde el fondo del tanque hasta el nivel del agua (variable según cada caso)

h = 0.846 m cuando el tanque está lleno y

h = 0.364 m cuando se encuentra a la mitad de su capacidad.

Se realizaron pruebas con dos presiones; la presión cuando el tanque se encontraba lleno y cuando el mismo se encontraba a la mitad de su capacidad. En la siguiente tabla, se muestran las presiones en las condiciones mencionadas anteriormente.

Tabla XII. Presiones cuando el tanque se encuentra lleno de agua y cuando está a la mitad de su capacidad.

	Presiones (kPa)
Tanque lleno	92.61
Tanque a la mitad	87.91

A continuación, se presentan las tablas XIII, XIV y XV, donde se compara el voltaje y la corriente máximos que se obtuvieron, utilizando diferentes presiones.

Tabla XIII. Voltaje y amperaje obtenidos, cuando la turbina se encuentra en la posición superior y se tienen diferentes presiones.

Presión (kPa)	Voltaje máximo(V)	Corriente máxima (Amp)
92.61 kPa	7.9	0.45
87.91 kPa	7.7	0.43

Tabla XIV. Voltaje y amperaje obtenidos, cuando la turbina se encuentra en la posición intermedia y se tienen diferentes presiones.

Presión	Voltaje máximo(V)	Corriente máxima (Amp)
92.61 kPa	7.9	0.52
87.91 kPa	7.8	0.47

Tabla XV. Voltaje y amperaje obtenidos, cuando la turbina se encuentra en la posición inferior y se tienen diferentes presiones.

Presión	Voltaje máximo(V)	Corriente máxima (Amp)
92.61 kPa	7.9	0.59
87.91 kPa	7.8	0.52

4.3 Velocidad

La velocidad únicamente se varió en una ocasión y se realizó para elevar el rendimiento de la turbina. Para variar la velocidad, se introdujo en un reductor campana, un pequeño segmento de manguera flexible. La razón de lo anterior es consecuente con el hecho de que a la entrada de la turbina se tiene una rosca de una pulgada de diámetro, sin embargo, el orificio de entrada del agua es de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Por lo tanto, el reductor campana no se utilizó para variar el área transversal del fluido, únicamente fue usada para sostener una manguera a la entrada de la turbina. En caso de que no se hubiese insertado el segmento de manguera flexible en el reductor campana, se tendría una especie de turbulencia en la entrada de agua hacia la turbina, con lo cual se perdería energía, que bien pudo haberse utilizado en la generación eléctrica.

Los datos medidos en las dos condiciones (con el segmento de manguera inserto en el reductor campana y sin éste), se recabaron cuando la turbina se encontraba en la posición inferior y el tanque lleno a su máxima capacidad. Para mayor comprensión del tema, véase la figura 33. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla XVI.

Figura 33. Reductor campana con un segmento de manguera en su interior y el otro sin dicho segmento.

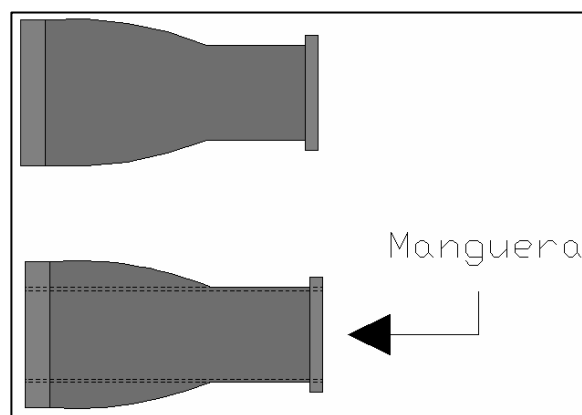


Tabla XVI. Voltaje y amperaje obtenidos cuando se tienen dos condiciones diferentes de velocidad del fluido.

Condiciones	Voltaje (V)	Corriente (Amp)
Cuando se utiliza únicamente el reductor campana.	7.8	0.55
Cuando se utiliza segmento de manguera flexible.	7.9	0.59

5. GUÍA DE PRÁCTICAS

El módulo de generación eléctrica con turbina hidráulica fue creado con fines demostrativos y didácticos, para que los estudiantes puedan comprender la forma en que se genera la energía eléctrica y que a la vez interactúen con el módulo. Además, este módulo permite determinar las condiciones, bajo las cuales el sistema es más eficiente. El análisis de las variables: presión, velocidad, caudal y altura da información objetiva acerca de la potencia, que se puede obtener de un sistema hidráulico para generación de energía eléctrica.

El módulo es de tipo demostrativo y, por lo tanto, posee únicamente los elementos básicos de cualquier instalación con turbina hidráulica. El diseño del módulo permite hacer cambios importantes en las variables y analizar su comportamiento.

A continuación, se definirá brevemente cada uno de los componentes del módulo y su función:

Tanque

La función principal del tanque es mantener un volumen considerable de agua, que permita a cierta altura generar energía por la caída del agua, que permita simular lo que sería un embalse.

Mangueras

Estas transportan el agua desde la salida del tanque hasta la turbina y tienen como finalidad simular las líneas de conducción ó tubería forzada. Las que están instaladas del tanque a la válvula son fijas; las que se encuentran de la válvula a la turbina pueden ser movidas y reemplazadas según la ubicación de la turbina.

Válvulas

Su función es permitir o no el paso del agua, así como regular el caudal requerido.

Estructura

Su función es dar soporte a la turbina y al generador eléctrico. Está diseñada para soportar a la turbina en tres diferentes alturas. Posee en la parte posterior a la del soporte de la turbina una caja cerrada, que debe proteger del agua los empalmes, que se encuentran entre el generador y el amperímetro, y entre el multímetro y lámpara. Así mismo debe proporcionar protección al multímetro.

Turbina-generador

La turbina tipo Pelton recibe la energía potencial del agua, a través de un chorro que al pegar sobre los álabes produce movimiento circular en la turbina, al encontrarse acoplado el eje de la turbina y el eje del generador eléctrico, este último aprovecha la potencia transmitida para producir energía eléctrica. Se debe recordar que este generador es de corriente directa y posee una salida máxima de 30 voltios y 3 amperios.

Multímetro

Éste se encarga de medir la cantidad de amperios y de voltios producidos por el generador a cierta potencia producida en el eje de la turbina por la caída del agua. Por lo descrito anteriormente, se puede concluir que siempre se van a obtener dos lecturas de este instrumento.

Lámpara

Es una lámpara de gas neón de corriente directa; está diseñada para 12 voltios. Este elemento es utilizado como prueba de la generación de energía y la comprobación final del buen funcionamiento de la turbina.

Recipiente

Su función es almacenar el agua a la salida de la turbina, para su utilización posterior.

Bomba

Ésta se encarga de sacar el agua del recipiente y llevarla al resto del parque para irrigarlo. Debido a su falta de potencia, no se puede utilizar para un rebombeo y reutilizar el agua.

Embudo, manguera y canal

Su función es la de captar el agua y llevarla al recipiente para su posterior utilización por la bomba.

5.1 Práctica No.1 Identificación y conexión de los componentes del módulo

Descripción

En esta práctica, será puesto a prueba el equipo hidráulico; se conectarán todos sus componentes con el objetivo de producir potencia y conocer el funcionamiento de cada uno. En esta práctica, ninguna variable será medida, y servirá al estudiante para que se familiarice con el módulo y sus componentes.

Objetivos:

Al finalizar la práctica, el estudiante será capaz de:

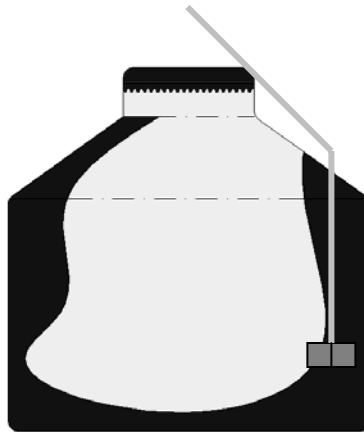
- Identificar los diferentes componentes del módulo.
- Definir el funcionamiento de cada componente.
- Distinguir la forma en que los componentes interactúan entre sí.
- Conectar en forma adecuada los componentes del módulo.
- Comprobar el funcionamiento de cada componente y del módulo completo.

Procedimiento

1. Compruebe que el tanque que se encuentra en la parte superior de la torre contiene agua suficiente. Para verificar si el tanque contiene agua, ubique la tuerca que se encuentra colgando por el lateral derecho del tanque; cuando esta tuerca cuelga por arriba de la reducción cerca de la boca del tanque, este se encuentra vacío. Si éste es el caso, llene el tanque hasta que la tuerca llegue a la base del tanque, lo cual le indicará que el tanque está lleno (Ver figura 34).
2. Remueva la cubierta del generador eléctrico; para esto, solamente debe desprender el adhesivo blanco situado en la parte lateral de la cubierta, el cual se

encuentra en la parte inferior sosteniendo las placas de soporte de la turbina. Cuando la remueva, colóquela en un lugar donde no reciba agua.

Figura 34. Tanque con tuerca al nivel de la base sobre el lado derecho que indica tanque lleno.



3. Desenrosque las mangueras que se conectan de las válvulas a la turbina, y verifique que exista un flujo uniforme a la salida de las mangueras y las válvulas no se encuentren obstruidas; el flujo de cada una debe ser el mismo para que generen el mismo torque.
4. Cuando haya revisado el flujo en cada manguera, rosque nuevamente las mangueras a las válvulas y posteriormente a la turbina. Abra la válvula por cinco segundos, solamente para verificar que han sido bien roscadas y que no queden fugas en el sistema.
5. Coloque el embudo a la salida del agua en la turbina, sujételo y asegúrese de que no hay fugas. Para esto, abra las válvulas por cinco segundos.

6. El recipiente que almacena el agua a la salida de la turbina debe estar abierto y con agua hasta la mitad del mismo; esto asegurará que la bomba no trabaje en vacío y sufra algún daño.
7. En la parte posterior de la estructura de la turbina, se encuentra una caja que contiene el multímetro; antes de poner a prueba el equipo, abra la caja con la llave del candado y déjela abierta para poder observar las lecturas en el amperímetro y el voltímetro.
8. Abra simultáneamente las válvulas e inmediatamente accione el interruptor de la bomba, para que comience a evacuar el agua del recipiente. Luego de unos segundos, la lámpara debe encender y se podrán hacer lecturas en el voltímetro y amperímetro, de acuerdo con lo que genera el sistema en ese instante. Las válvulas quedarán abiertas por siete minutos. Inmediatamente después de cerrar las válvulas, se debe apagar la bomba.
9. Proteja el generador con la cubierta cerrando todas las juntas adhesivas blancas. Cierre la parte posterior de la estructura de la turbina con el candado y asegúrese nuevamente de que el interruptor de la bomba permanece en apagado.

5.2 Práctica No. 2. Determinación de caudales y cálculo de tiempo de vaciado

Descripción

En esta práctica, se determinará el caudal, según la cantidad de agua que tenga el tanque. Para esta práctica, se utilizarán tres diferentes niveles de agua dentro del tanque. Además se calculará el tiempo, en el cual se vacía por completo el tanque.

Objetivos:

Al finalizar la práctica el estudiante será capaz de:

- Calcular el caudal a la salida del tanque, según el nivel del agua, realizando un pequeño aforo volumétrico.
- Determinar el tiempo en el que el tanque quedará vacío.
- Determinar el caudal máximo y compararlo matemáticamente.
- Determinar las causas por las cuales varía el caudal.

Materiales

- Cubeta cilíndrica
- Cronómetro
- Cinta métrica

Procedimiento

Determinación de caudales a tanque lleno

1. Con la cinta métrica, mida el diámetro de la cubeta y anótelos; recuerde usar una cubeta con un mismo diámetro a través de toda su altura.

2. Compruebe que el tanque que se encuentra en la parte superior de la torre está lleno. Para verificar si el tanque está lleno, ubique la tuerca que se encuentra colgando por el lateral derecho del tanque; cuando esta tuerca cuelga cerca de la base del tanque significa que está lleno.
3. Desenrosque las mangueras que se conectan de las válvulas a la turbina; verifique que exista un flujo uniforme a la salida de las mangueras y las válvulas no se encuentren obstruidas; el flujo de cada una debe ser muy parecido.
4. Coloque la cubeta al pie de la torre entre la estructura de la turbina y la torre que soporta al tanque.
5. Coloque las 2 mangueras dentro de la cubeta y colóquese con el cronómetro al lado de la cubeta.
6. Abra simultáneamente las válvulas y al primer impacto del agua sobre la cubeta ponga en marcha el cronómetro; al llegar aproximadamente a la mitad de la cubeta, cierre las válvulas e inmediatamente retire las mangueras de la cubeta. Recuerde detener el cronómetro al mismo tiempo que retira las mangueras.
7. Marque y mida la altura del agua en la cubeta, anótela junto con el tiempo, al cual usted detuvo el cronómetro.
8. Utilizando el diámetro y la altura del agua en la cubeta, calcule el volumen de agua dentro de la cubeta. Este dato, con el del tiempo, le permitirán calcular el caudal de agua a través de la fórmula :

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q = Caudal en m^3

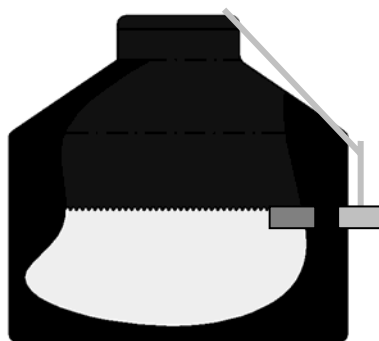
V = Volumen de agua contenido en la cubeta en m^3

t = Tiempo en el que alcanzamos este volumen de agua en segundos

Determinación de caudales tanque a la mitad

1. Con la cinta métrica mida el diámetro de la cubeta y anótelos; recuerde usar una cubeta con un mismo diámetro a través de toda su altura.
2. Compruebe que el tanque, que se encuentra en la parte superior de la torre, está a la mitad (Ver figura 35). Para verificar si el tanque está a la mitad, ubique la marca gris que se encuentra al lado derecho del tanque; cuando la rosca se encuentra sobre la marca gris, el tanque se encuentra a la mitad.

Figura 35. Tanque con tuerca sobre la marca gris, que indica que el tanque se encuentra a la mitad de su capacidad.

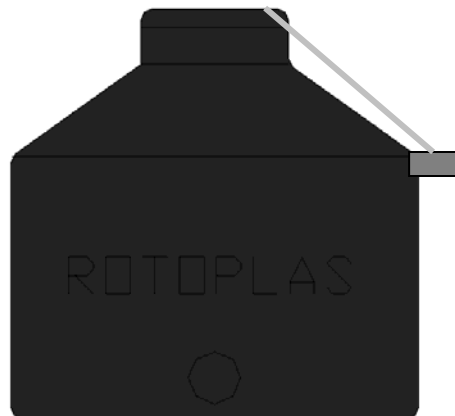


3. Repita los pasos del 3 al 8, que se indicaron para determinación de caudales para tanque lleno.

Determinación de caudal tanque con bajo nivel de agua

1. Con la cinta métrica, mida el diámetro de la cubeta y anótelolo; recuerde usar una cubeta con un mismo diámetro a través de toda su altura.
2. Compruebe que el tanque, que se encuentra en la parte superior de la torre, está con bajo nivel de agua (Véase la figura 36). Para verificar si el tanque está con bajo nivel de agua, ubique la línea del diámetro superior, sobre la cual el tanque adopta forma cilíndrica, después de la reducción de la boca del tanque. Ubique la tuerca sobre línea.

Figura 36. Tanque con tuerca arriba de la parte cilíndrica, que indica que el tanque se encuentra con bajo nivel de agua.



3. Repita los pasos del 3 al 8 que se indicaron, para la determinación de caudales para tanque lleno.

Tabla de datos para realizar la práctica

Nivel del agua en el tanque	Diámetro cubeta (metros)	Altura del agua en la cubeta (metros)	Volumen (m ³)	Tiempo (segundos)	Caudal (m ³ /seg)
Lleno					
Mitad					
Casi vacío					

Tiempo de vaciado del tanque

1. Repita los pasos 1 al 7 de la práctica No. 1
2. Abra simultáneamente las válvulas y active de inmediato el cronómetro. No olvide accionar el interruptor de la bomba, para que comience a evacuar el agua del recipiente. Esta vez el tiempo en que las válvulas estarán abiertas será hasta que ya no haya agua en el tanque.
3. Anote el tiempo, en el cual el tanque queda vacío y tómelo como tiempo máximo de trabajo para el sistema.

5.3 Práctica No. 3. Variación de la altura de la turbina

Descripción

En esta práctica, la turbina será colocada diferentes alturas. De acuerdo con la estructura que la soporta, se puede colocar en tres diferentes niveles; entre cada soporte existe una diferencia de 40 cms. Se estudiará el efecto que tiene el cambio de altura sobre la generación de potencia.

Objetivos:

Al finalizar la práctica el estudiante será capaz de:

- Colocar la turbina dentro de su estructura a diferentes alturas.
- Determinar la influencia de la altura sobre la generación de potencia.

Procedimiento

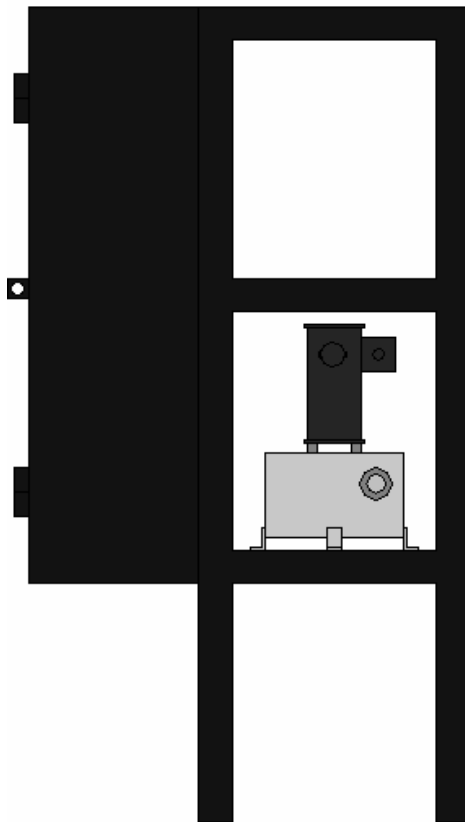
La turbina en la parte inferior de la estructura

1. Remueva la cubierta del generador eléctrico; para esto, solamente debe desprender el adhesivo blanco situado en la parte lateral de la cubierta y el que se encuentra en la parte inferior, sosteniendo las placas de soporte de la turbina. Cuando la remueva, colóquela en un lugar donde no reciba agua.
2. Compruebe que la turbina se encuentra en el soporte más bajo de la estructura. Si este no es el caso, remueva manualmente las mariposas que se encuentran debajo de las placas que soportan la turbina. Cada una de estas placas posee dos mariposas, que las debe remover completamente. Coloque las cuatro placas sobre los soportes más bajos, haciendo coincidir el número de la placa con el de la

estructura en el soporte superior. Este número no sólo debe coincidir sobre el lado del soporte, sino también en la forma en que está situado el número, es decir, como si se escribieran los números, uno debajo de otro en un cuaderno.

3. Coloque la turbina sobre los soportes, dejando la placa que contiene la marca de la turbina del lado de la torre. En la siguiente figura, se puede observar la manera en la que debe ser colocada la turbina.

Figura 37. Estructura y turbina montada correctamente sobre el soporte inferior.



4. Desenrosque las mangueras que se conectan de las válvulas a la turbina, y verifique que exista un flujo uniforme a la salida de las mangueras y las válvulas

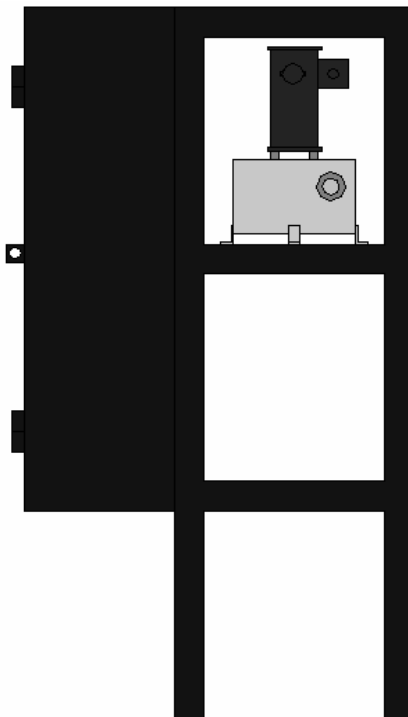
no se encuentren obstruidas; el flujo de cada una debe ser el mismo para que generen el mismo torque.

5. Cuando haya revisado el flujo en cada manguera rosque nuevamente las mangueras a las válvulas y posteriormente a la turbina. Abra la válvula por cinco segundos, solamente para verificar que hayan sido bien roscadas y que no existan fugas en el sistema.
6. Coloque el embudo a la salida del agua en la turbina, sujételo y asegúrese que no hay fugas. Para esto, abra las válvulas por cinco segundos.
7. El recipiente que almacena el agua a la salida de la turbina debe estar abierto y con agua hasta la mitad del mismo; esto asegurará que la bomba no trabaje en vacío y sufra algún daño.
8. En la parte posterior de la estructura de la turbina, se encuentra una caja que contiene el multímetro; antes de poner a prueba el equipo, abra la caja con la llave del candado y déjela abierta para poder observar las lecturas en el amperímetro y el voltímetro.
9. Abra simultáneamente las válvulas e inmediatamente accione el interruptor de la bomba, para que comience a evacuar el agua del recipiente. Luego de unos segundos, la lámpara debe encender y se podrán hacer lecturas en el voltímetro y amperímetro, de acuerdo con lo que genera el sistema en ese instante. Las válvulas quedarán abiertas únicamente mientras se hacen las lecturas. Inmediatamente después de cerrar las válvulas se debe apagar la bomba
10. Anote los voltios y amperios producidos para esta altura.

Turbina en la parte intermedia de la estructura

1. Remueva manualmente las mariposas que se encuentran debajo de las placas que soportan la turbina. Cada una de estas placas posee dos mariposas; remuévalas completamente. Coloque las cuatro placas sobre los soportes del medio haciendo coincidir el número de la placa con el de la estructura en el soporte superior. Este número no sólo debe coincidir sobre el lado del soporte, sino también en la forma en la que está situado el número, es decir, como si se escribiera los números uno debajo de otro en un cuaderno. La figura 38 muestra la manera correcta de colocar la turbina sobre el soporte intermedio.

Figura 38. Estructura y turbina montada correctamente sobre el soporte intermedio.

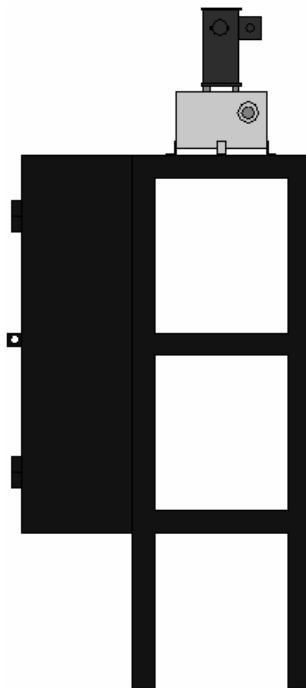


2. Repita los pasos 3 al 10, para las pruebas efectuadas en el soporte inferior de la estructura.

Turbina en la parte superior de la estructura

3. Remueva manualmente las mariposas que se encuentran debajo de las placas que soportan la turbina. Cada una de estas placas posee dos mariposas; remuévalas completamente. Coloque las cuatro placas sobre los soportes en la parte superior de la estructura, en donde se encuentran pintados los números, y haga coincidir el número de la placa con el de la estructura en el soporte superior. Este número no sólo debe coincidir sobre el lado del soporte, sino también en la forma en la que está situado el número, es decir, como si se escribiera los números uno debajo de otro en un cuaderno. La figura 39 muestra la manera correcta de colocar la turbina sobre el soporte superior.

Figura 39. Estructura y turbina montada correctamente sobre el soporte superior.



1. Repita los pasos 3 al 10, para las pruebas efectuadas en el soporte inferior de la estructura.

Tabla de datos para realizar la práctica

Nivel de los soportes	Voltios	Amperios
Inferior		
Medio		
Superior		

5.4 Práctica No. 4. Variación de la presión en el sistema

Descripción

En esta práctica, se variará el nivel del agua en el tanque, con el fin de cambiar la presión total en el sistema. Se analizarán los cambios en la generación de potencia, de acuerdo con los cambios de presión.

Objetivos:

Al finalizar la práctica, el estudiante será capaz de:

- Variar la presión en el módulo.
- Determinar la influencia de la presión sobre la generación de potencia.

Procedimiento

Tanque lleno (máxima presión hidrostática)

1. Compruebe que el tanque que se encuentra en la parte superior de la torre está lleno. Para verificar si el tanque está lleno, ubique la tuerca que se encuentra, colgando por el lateral derecho del tanque; cuando esta tuerca cuelga cerca de la base del tanque significa que está lleno.
2. Remueva la cubierta del generador eléctrico; para esto solamente debe desprender el adhesivo blanco situado en la parte lateral de la cubierta y el que se encuentra en la parte inferior, y sostener las placas de soporte de la turbina. Cuando la remueva, colóquela en un lugar donde no reciba agua.
3. Desenrosque las mangueras que se conectan de las válvulas a la turbina, y verifique que exista un flujo uniforme a la salida de las mangueras y las válvulas

no se encuentren obstruidas; el flujo de cada una debe ser el mismo para que generen el mismo torque.

4. Cuando haya revisado el flujo en cada manguera, rosque nuevamente las mangueras a las válvulas y posteriormente a la turbina. Abra la válvula por cinco segundos solamente, para verificar que han sido bien roscadas y que no haya fugas en el sistema.
5. Coloque el embudo a la salida del agua en la turbina, sujételo y asegúrese de que no hay fugas. Para esto, abra las válvulas por cinco segundos.
6. El recipiente que almacena el agua a la salida de la turbina debe estar abierto y con agua hasta la mitad del mismo; esto asegurará que la bomba no trabaje en vacío y sufra algún daño.
7. En la parte posterior de la estructura de la turbina, se encuentra una caja, que contiene el multímetro; antes de poner a prueba el equipo abra la caja con la llave del candado y déjela abierta, para poder observar las lecturas en el amperímetro y el voltímetro.
8. Abra simultáneamente las válvulas e inmediatamente accione el interruptor de la bomba, para que comience a evacuar el agua del recipiente. Luego de unos segundos, la lámpara debe encender y se podrán hacer lecturas en el voltímetro y amperímetro, de acuerdo con lo que genera el sistema en ese instante. Las válvulas quedarán abiertas únicamente mientras se hacen las lecturas. Inmediatamente después de cerrar las válvulas, se debe apagar la bomba
9. Anote los voltios y amperios producidos para esta presión.

10. Para calcular la presión a la salida del tanque, sume la presión hidrostática a la presión atmosférica. Anote este dato en su tabla de datos.

Tanque a la mitad de su capacidad

1. Compruebe que el tanque, que se encuentra en la parte superior de la torre, está a la mitad. Para verificar si el tanque está a la mitad, ubique la marca gris que se encuentra al lado derecho del tanque; cuando la rosca se encuentra sobre la marca gris el tanque se encuentra a la mitad.
2. Repita los pasos 1 al 10 que se indicaron para el tanque lleno.

Tanque con bajo nivel de agua

1. Compruebe que el tanque, que se encuentra en la parte superior de la torre, está con bajo nivel de agua. Para verificar si el tanque está con bajo nivel de agua, ubique la línea del diámetro superior, sobre la cual el tanque adopta forma cilíndrica, después de la reducción de la boca del tanque. Ubique la tuerca sobre línea.
2. Repita los pasos 1 al 10 que se indicaron para el tanque lleno.

Tabla de datos para realizar la práctica

Presión a la salida del tanque	Voltios	Amperios

5.5 Práctica No. 5. Variación en el caudal

Descripción

En esta práctica, se variará el caudal del agua a la salida en las mangueras. Para lograr esto, se utilizarán las dos válvulas de bola del sistema. Se analizarán los cambios en la generación de energía de acuerdo con los cambios en el caudal.

Objetivos:

Al finalizar esta práctica, el estudiante será capaz de:

- Variar el caudal en el módulo.
- Determinar el caudal, cuando se estrangula el flujo a través de una válvula.
- Determinar los cambios en la generación de energía, de acuerdo con los cambios en el caudal.

Materiales

- Cubeta
- Cinta métrica
- Cronómetro

Procedimiento

Caudal con una válvula abierta

1. Compruebe que el tanque, que se encuentra en la parte superior de la torre, está lleno. Para verificar si el tanque está lleno, ubique la tuerca que se encuentra colgando por el lateral derecho del tanque; cuando esta tuerca cuelga cerca de la base del tanque significa que está lleno.
2. Asegúrese de que la turbina se encuentra en el soporte más bajo de la estructura.

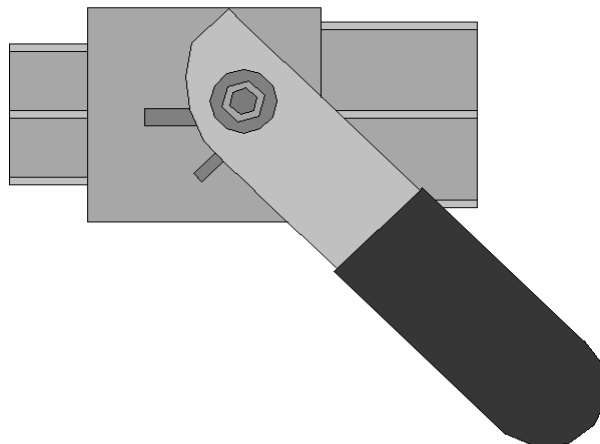
3. Repita los pasos 1 al 4 de la práctica No. 2.
4. Coloque una manguera dentro de la cubeta.
5. Abra la válvula que corresponde a la manguera dentro de la cubeta, hasta que el nivel del agua sea aproximadamente la mitad de la cubeta e inmediatamente accione el cronómetro.
6. Cierre la válvula e inmediatamente saque la manguera de la cubeta. No se olvide de detener el cronómetro, al mismo tiempo que se saca la manguera.
7. Mida la altura del agua dentro de la cubeta y anótelos.
8. Rosque la manguera en la turbina. Debe utilizar la misma sobre la cual midió el caudal.
9. Remueva la cubierta del generador eléctrico; para esto, solamente debe desprender el adhesivo blanco situado en la parte lateral de la cubierta y el que se encuentra en la parte inferior, sosteniendo las placas de soporte de la turbina. Cuando la remueva, colóquela en un lugar donde no reciba agua.
10. Coloque el embudo a la salida del agua en la turbina, sujételo y asegúrese que no hay fugas. Para esto, abra las válvulas por cinco segundos.
11. El recipiente que almacena el agua a la salida de la turbina debe estar abierto y con agua hasta la mitad del mismo; esto asegurará que la bomba no trabaje en vacío y sufra algún daño.

12. En la parte posterior de la estructura de la turbina, se encuentra una caja que contiene el multímetro; antes de poner a prueba el equipo abra la caja con la llave del candado y déjela abierta, para poder observar las lecturas en el amperímetro y el voltímetro.
13. Abra la válvula e inmediatamente accione el interruptor de la bomba, para que comience a evacuar el agua del recipiente. Las válvulas quedarán abiertas únicamente mientras se hacen lecturas en el amperímetro y voltímetro. Inmediatamente después de cerrar las válvulas se debe apagar la bomba.
14. Anote los valores indicados en el multímetro.
15. Repita los pasos 1 al 13 con la otra manguera. Compare los valores obtenidos.

Una válvula y la otra abierta a 45°

1. Repita los pasos 1 al 14, que se indicaron para una válvula, pero en esta ocasión utilice las dos mangueras con una válvula abierta a 45°. En la figura 40, se observa la válvula abierta aproximadamente a la mitad.

Figura 40. Válvula abierta a 45°.



Dos válvulas abiertas

1. Repita los pasos 1 al 14, que se indicaron para una válvula, pero en esta ocasión, utilice las dos mangueras con las dos válvulas totalmente abiertas.

Tabla de datos para realizar la práctica

Número de válvulas	Caudal	Voltios	Amperios
Una válvula			
Una válvula y otra a 45°			
Dos válvulas			

CONCLUSIONES

1. Muchos recursos hidráulicos en el país pueden ser aprovechados para generación de energía eléctrica por medio de turbinas, pues es una fuente de energía de bajo costo. Por eso, el propósito del parque tecnológico y del módulo de generación eléctrica por medio de turbina hidráulica, es demostrar que la tecnología en que se basa este sistema no tiene nada de complicado y se encuentra al alcance de muchas municipalidades, instituciones y empresas del país, que deseen invertir en esta opción energética.
2. Según las características del recurso hidráulico, se debe seleccionar adecuadamente la turbina. Por esa razón, se deben tomar en cuenta el caudal, la presión del fluido, la caída de niveles y la topografía del terreno.
3. El sistema demostró, a través de las pruebas realizadas, que se genera mayor cantidad de energía al incrementar la diferencia de alturas entre la entrada a la turbina y la salida del tanque.
4. El módulo de generación eléctrica, por medio de turbina hidráulica, puede ser utilizado con fines didácticos, para el aprendizaje de los estudiantes, para que puedan realizar prácticas o pruebas con el equipo. También puede utilizarse para hacer demostraciones al público en general, como una forma de popularización de las fuentes renovables de energía.

5. El agua utilizada, como líquido de trabajo en el funcionamiento del módulo de generación eléctrica, puede ser reutilizada ya que no sufre transformación alguna. Esto se comprueba cuando el agua que sale del módulo se utiliza para irrigar el parque tecnológico.

6. Para el correcto funcionamiento del conjunto turbina-generator, se debe tener especial cuidado de que, tanto tuberías como accesorios se encuentren libres de obstrucciones, ya que éstas afectarían en forma significativa la generación eléctrica.

RECOMENDACIONES

1. Si se desea recircular el agua utilizada en el sistema, se debe reemplazar la bomba ya existente por una de mayor potencia, y aplicar químicos para el tratamiento de algas.
2. Hay que finalizar la construcción de la escalera de la torre que soporta el tanque de agua, para que se realice un correcto mantenimiento del mismo.
3. Es conveniente efectuar el mantenimiento sugerido de manera periódica y comprobar el correcto funcionamiento del sistema.
4. Se debe dar a conocer a los estudiantes la existencia de este módulo, para poderlo utilizar como un complemento teórico-práctico del curso de Máquinas Hidráulicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

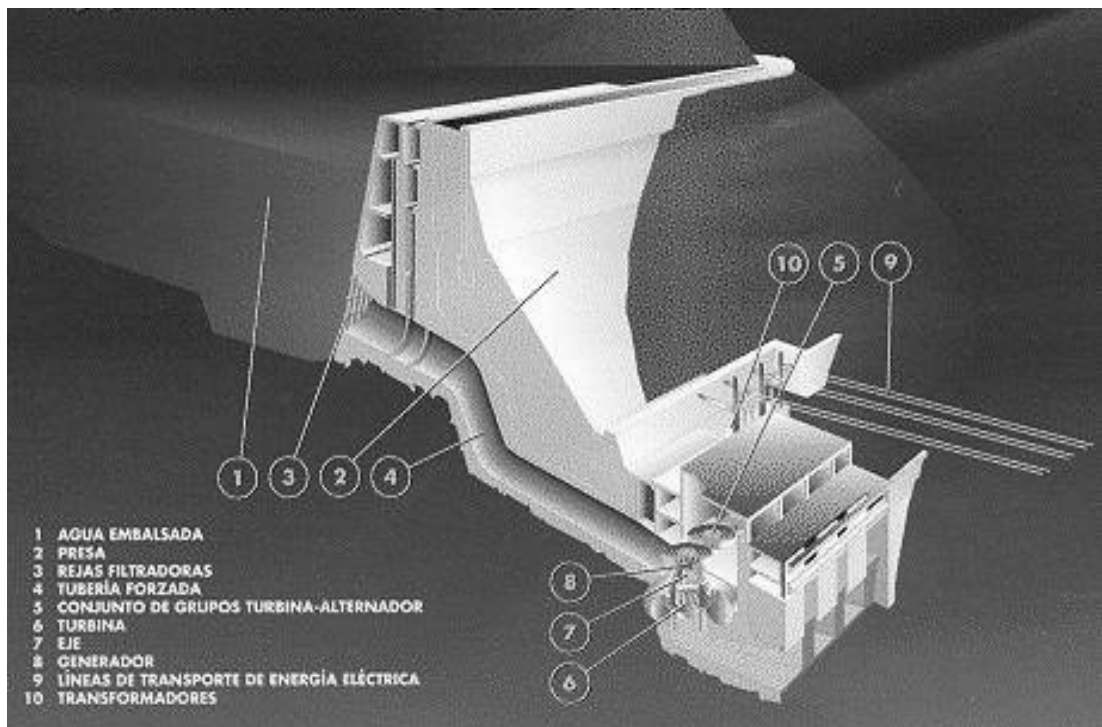
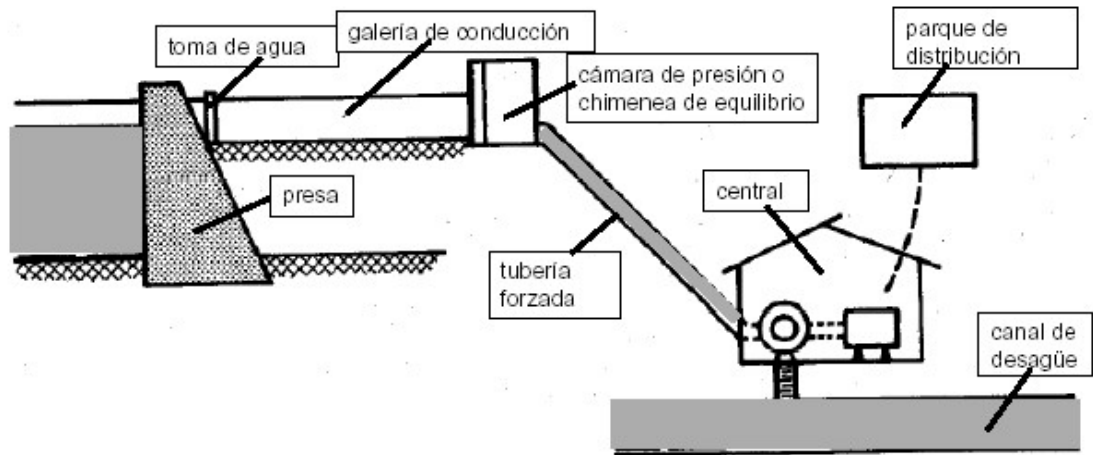
1. Análisis físico químico sanitario del laboratorio unificado de química y microbiología sanitaria, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) de la Facultad de Ingeniería y la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA) de la Municipalidad de Guatemala.
2. National Rural Electric Cooperative Association (NRECA), Manual de sistemas solares de iluminación domiciliar, (folleto) p. 6 – 30.
3. RULE, Manual para instalación de bomba, modelo 1500. (folleto) p. 1-6.
4. Página web: www.bicho.uc3m.es/alumn/CE1/practicas/pract4_2 (marzo 2003).
5. Página web: www1.ceit.es/asignaturas/ecologia/trabajos/ehidraul (marzo 2003).
6. Página web: www.usuarios.lycos.es/jrcuenca/Spanish/Turbinas (marzo 2003).

BIBLIOGRAFÍA

1. Giles, Ranald V. y otros. **Mecánica de fluidos e hidráulica**. 3ª edición. España: Editorial McGraw-Hill, 1994. 420 pp.
2. Mataix, Claudio. **Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas**. Segunda edición. México: Editorial Harla, 1982. 660 pp.
3. Morrow, L. C. **Enciclopedia de mantenimiento industrial**. 10ª edición (tomo3). México: Editorial Continental, 1986.
4. Página web: www.turbinas3hc.com (marzo 2003)
5. Página web: www.netdial.caribe.net/~jrbaspr (marzo 2003)
6. Página web: www.geocities.com/RainForest/Watershed/7506 (marzo 2003).

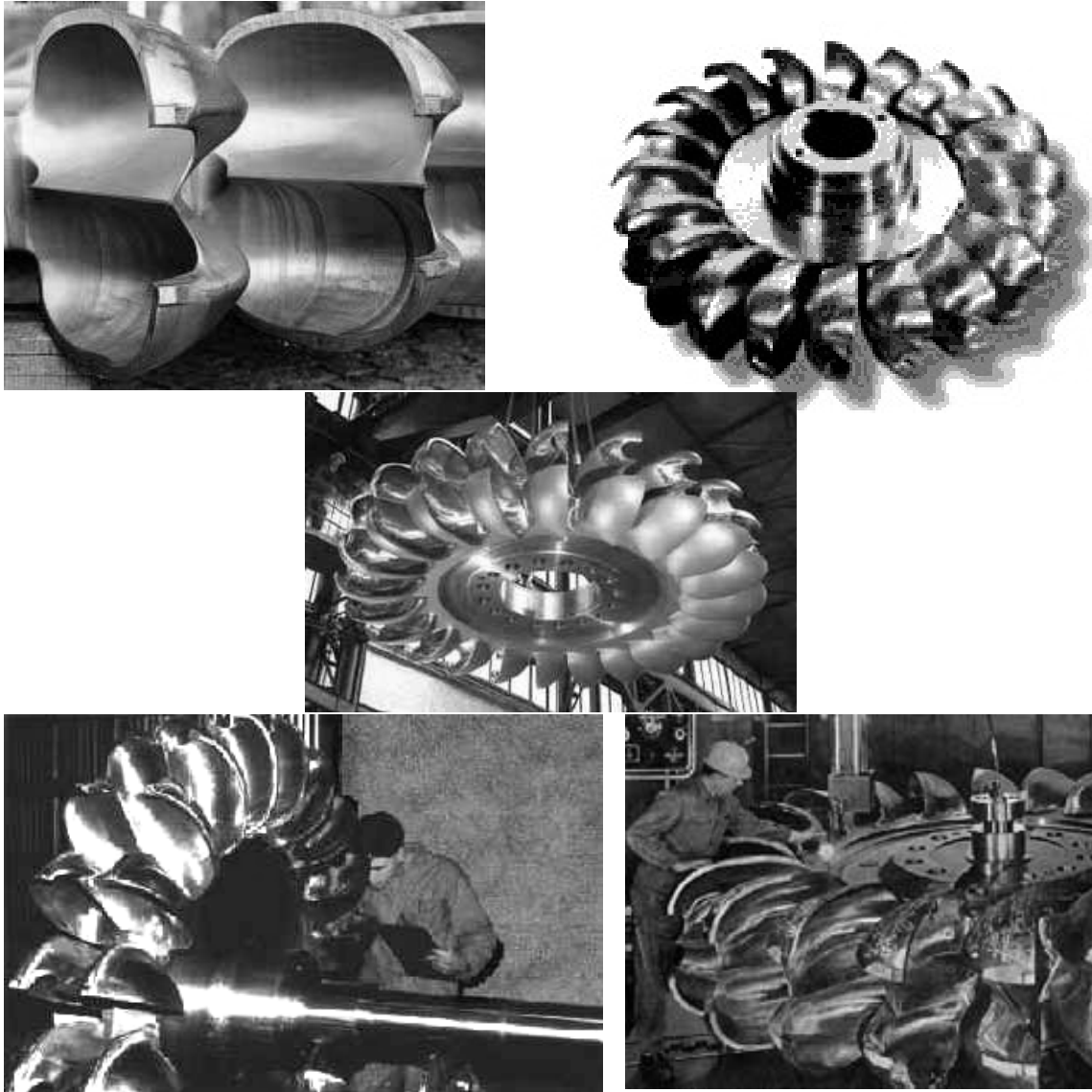
ANEXO

Figura 41. Esquemas de una central hidroeléctrica.



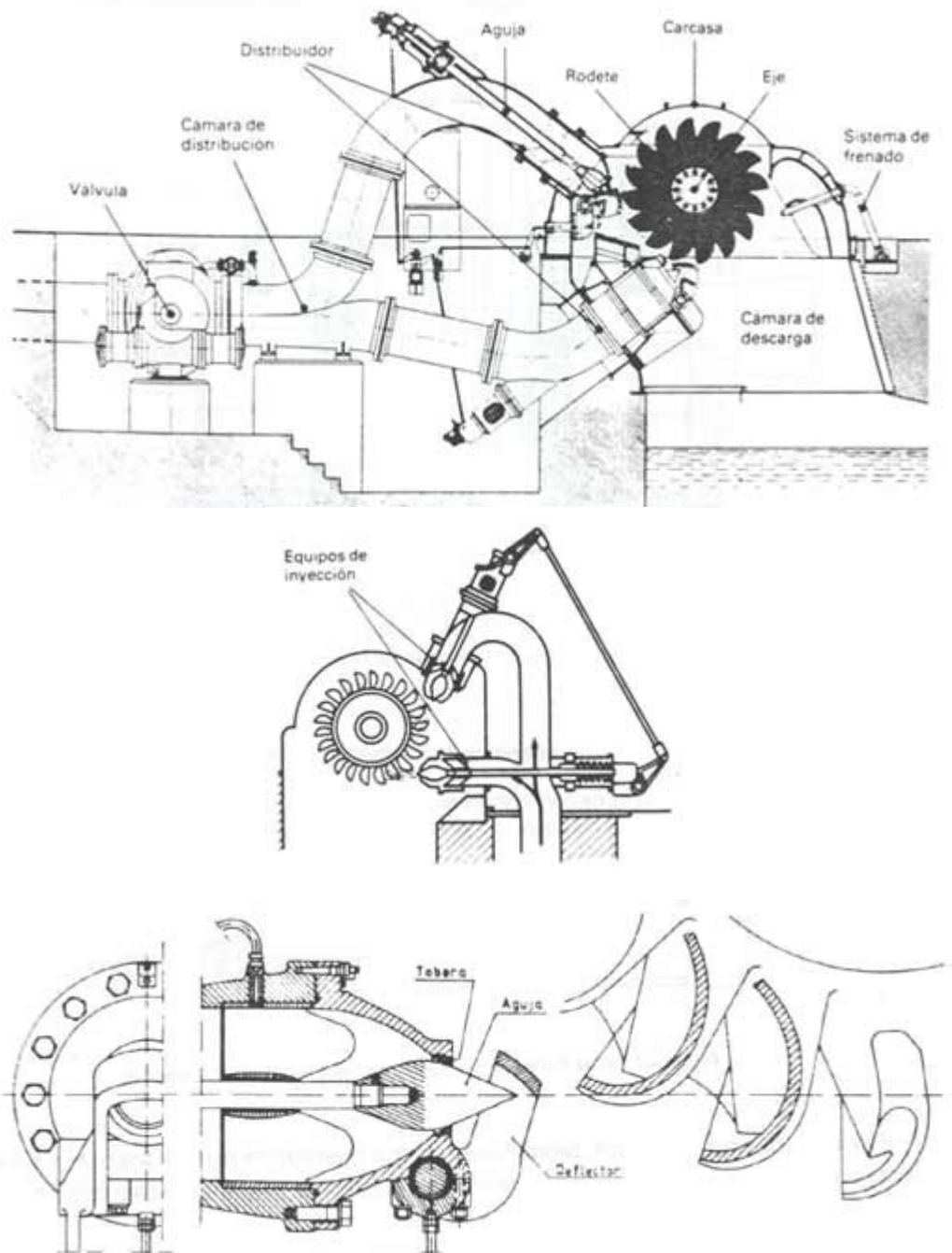
Fuentes: www.bicho.uc3m.es/alumn/CE1/practicas/pract4_2.pdf. marzo 2003
www1.ceit.es/asignaturas/ecologia/trabajos/hidraul/. marzo 2003

Figura 42. Vista de diferentes álabes de turbinas Pelton.



Fuentes: www.bicho.uc3m.es/alumn/CE1/practicas/pract4_2.pdf. marzo 2003
www1.ceit.es/asignaturas/ecologia/trabajos/ehidraul. marzo 2003

Figura 43. Turbina Pelton utilizando inyectores de agua.



Fuente: www.usuarios.lycos.es/jrcuenca/Spanish/Turbinas. marzo 2003

Figura 44. Medidas en centímetros, de la turbina, la estructura que la sostiene y la torre que soporta el tanque.

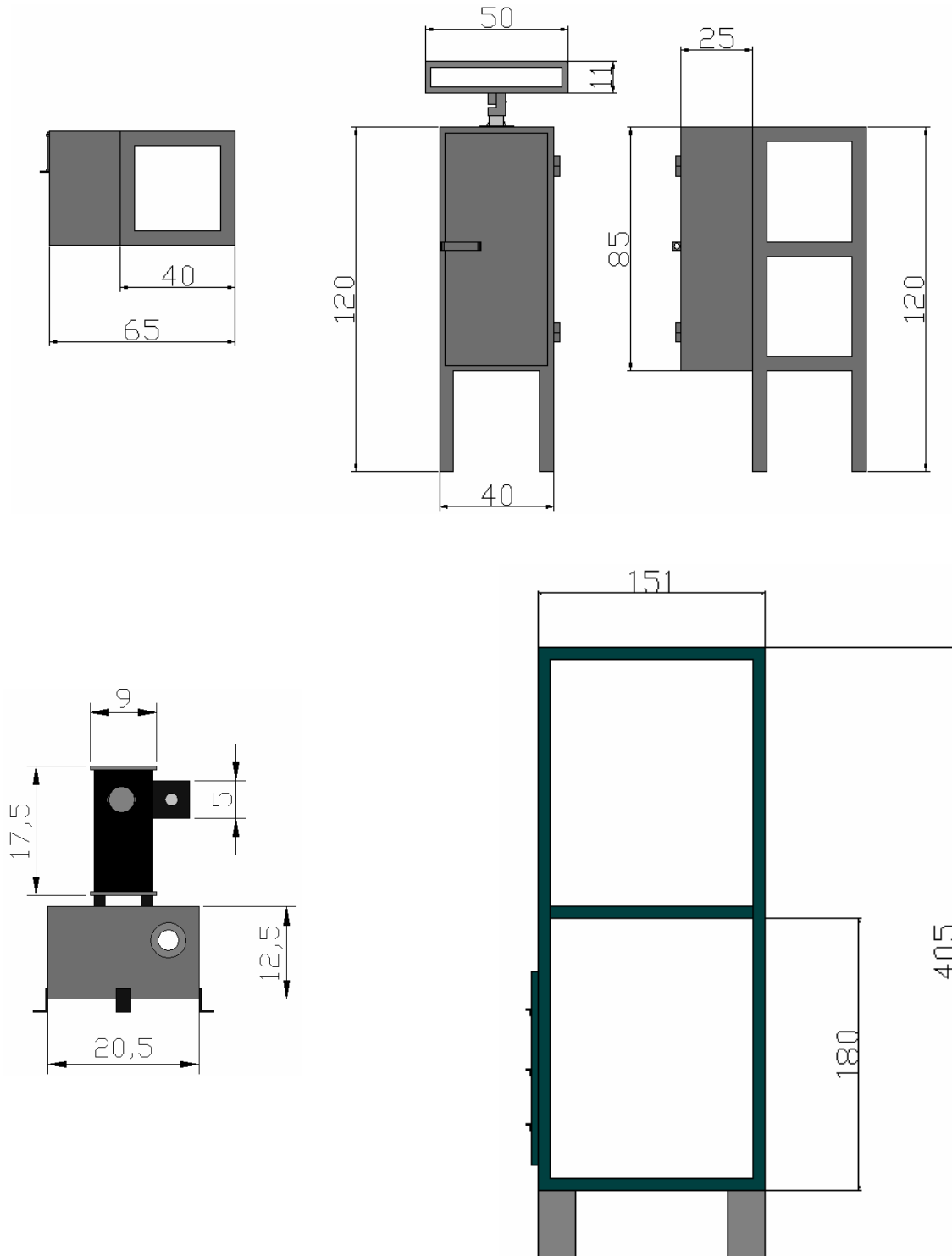


Figura 45. Vistas del módulo cuando el reflector se encuentra encendido.



Figura 46. Otras vistas del módulo cuando el reflector se encuentra encendido.

