



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

**MANUAL PARA EL DESARROLLO DEL LABORATORIO
DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS DE LA CARRERA**

DE INGENIERÍA MECÁNICA

Walter Guillermo Castellanos Rojas

Asesorado por el Ing. José Ismael Véliz Padilla

Guatemala, enero de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL II	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Molina Zaldaña
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Raúl Guillermo Izaguirre Noriega
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

MANUAL PARA EL DESARROLLO DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Carrera de Ingeniería Mecánica, el 7 de agosto de 2006.

Walter Guillermo Castellanos Rojas

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Creador del Universo y de mi existencia
Dr. Rodolfo F. Kepfer R.	Papá y guía, quién me enseñó como vivir
Eugenia Rojas de Kepfer	Mi mamá quién ayudó con mi enseñanza
Mis Hermanos	José Rodolfo y Sebastián Kepfer Rojas
Mis Hijos	José Alejandro y Luis Pedro Castellanos Chang, eje y motor de mi vida
Mis Primos	Oscar Estuardo Rojas, Jeannete Grajeda, Erick Lima, Rosario Castillo de Rojas
Mis Tías	Sonia Rojas Vielman y Gilda Rojas Vielman
Mis Sobrinos	Pablo Estuardo, Oscar Alberto, Juan Carlos Rojas Castillo y Andrés Arreaga Grajeda.
Mis Amigos	Compañeros Universitarios con quienes Compartí grandes momentos
los Ingenieros	Julio César Molina, Carlos Anibal Chicojay, José Ismael Véliz, Carlos Pérez, Roberto Guzmán, por la ayuda y amistad brindadas
Guatemala	País hermoso al que deseo servir con amor

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. LABORATORIO No.1	
LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO	1
1.1 Objetivos del Laboratorio	1
1.2 Marco Teórico	2
1.2.1 Golpe de Ariete	3
1.2.2 Energía Potencial y Cinética	3
1.2.3 Limitaciones Hidráulicas	4
1.2.4 Fórmulas a utilizar	5
1.2.4.1 Rendimiento (R)	5
1.2.4.2 El Caudal Elevado	6
1.3 Descripción del equipo a utilizar	7
1.4 Desarrollo del Laboratorio	9
1.4.1 Funcionamiento de la Bomba de Ariete Hidráulico	9
1.4.2 Desarrollo del Laboratorio	10
1.5 Tabulación de datos obtenidos	13
1.6 Gráficas	15
1.7 Conclusiones del capítulo I	17
1.8 Recomendaciones del capítulo I	19

2.	LABORATORIO No.2	
	LA TURBINA PELTON	21
2.1	Objetivos del Laboratorio	21
2.2	Marco Teórico	21
2.2.1	Turbina Hidráulica	21
2.2.2	Clasificación de Turbinas	22
2.2.2.1	La Turbina de Impulso	23
2.2.2.2	Funcionamiento	24
2.3	Fórmulas a utilizar	25
2.4	Descripción del equipo a utilizar	26
2.4.1	El Tanque	26
2.4.2	Tuberías, mangueras y válvulas de cierre	26
2.4.3	La Turbina-Generador	27
2.4.4	La Cabina	27
2.4.5	Medidores de Voltaje y Amperaje	28
2.5	Desarrollo del Laboratorio	28
2.6	Tabulación de datos obtenidos	30
2.7	Gráficas	34
2.8	Conclusiones del capítulo II	36
3	LABORATORIO No.3	
	LA TURBINA TIPO MICHELL BANKI	37
3.1	Objetivos del Laboratorio	37
3.2	Marco Teórico	37
3.2.1	La Turbina Tipo Michell Banki	37
3.2.1.1	Descripción de una turbina tipo Michell Banki fabricada por Ossberger Turbinenfabrik	38

3.2.2 Fórmulas a utilizar	42
3.3 Descripción de equipo a utilizar	43
3.4 Desarrollo del Laboratorio	46
3.5 Tabulación de datos	50
3.6 Gráficas	52
3.7 Conclusiones del capítulo III	54
3.8 Recomendaciones del capítulo III	55
4 LABORATORIO No.4	
LA BOMBA CENTRÍFUGA HORIZONTAL	57
4.1 Objetivos del Laboratorio	57
4.2 Marco Teórico	58
4.2.1 Definición de Bomba Hidráulica	58
4.2.2 Bomba Centrífuga	58
4.2.2.1 Rotación de las Bombas Centrífugas	61
4.2.2.2 Comportamiento de la Bomba Centrífuga	62
4.2.2.2.1 Capacidad (Q)	62
4.2.2.2.2 Carga (H)	63
4.2.2.2.3 Potencia	63
4.2.2.2.4 Eficiencia	64
4.3 Descripción del equipo a utilizar	64
4.4 Desarrollo del Laboratorio	65
4.5 Tabulación de datos obtenidos	65
CONCLUSIONES	67
RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Ariete hidráulico	2
2. Depósito de agua	3
3. Ariete hidráulico y sus componentes	8
4. Ariete hidráulico y sus componentes	9
5. Gráfica caudal de abastecimiento vrs pulsaciones por minuto	15
6. Gráfica caudal de desperdicio vrs pulsaciones por minuto	16
7. Ilustración de turbina Pelton	23
8. Aguja de chorro	24
9. Rodete con cucharas turbina Pelton	25
10. Turbina Pelton completa	27
11. Cabina de medidores eléctricos	28
12. Gráfica depósito lleno y turbina en posición superior	34

13. Gráfica depósito lleno y la turbina en posición intermedia	35
14. Componentes de turbina Michell Banki	39
15. Entradas de agua a turbina Michell Banki	40
16. Componentes de banco de pruebas de turbina Michell Banki	44
17. Chorro de purga y manómetro 1 en banco de pruebas	44
18. Generador tipo alternador	44
19. Componentes de la turbina Michell Banki	45
20. Tablero de mediciones eléctricas de turbina Michell Banki	45
21. Puesta en marcha de equipo	46
22. Componentes de turbina Michell Banki	48
23. Banco de trabajo de turbina Michell Banki	48
24. Ubicación de palanca posicionadora de generador móvil	50
25. Gráfica revoluciones por minuto vrs caudales	52
26. Gráfica revoluciones por minuto vrs potencia en Kj/s	53

27. Gráfica revoluciones por minuto vrs voltaje	53
28. Impulsores, cojinetes y estopas de bomba centrífuga	59
29. Vista lateral de bomba centrífuga	61
30. Vista lateral de bomba centrífuga	65
31. Turbina ossberger o Michell Banki real	76
32. Turbina ossberger o Michell Banki real	77
33. Rodete de turbina Michell Banki	77
34. Rodete tamaño natural turbina pelton	78

TABLAS

I. Rendimiento hidráulico de bomba de ariete	5
II. Ejemplo de tabla a usar para datos	12
III. Datos obtenidos para ariete hidráulico	13
IV. Eficiencias de Rankine y D´Abuisson	14
V. Datos de caudal	31
VI. Datos de caudal para tanque a la mitad	31

VII.	Voltaje y amperios con tanque lleno	32
VIII.	Voltaje y amperios con tanque a la mitad	32
IX.	Voltaje y amperios con tanque lleno y posición intermedia	33
X.	Voltaje y amperios con tanque a la mitad y posición Intermedia	33
XI.	Posiciones y alturas en banco de prueba Michell Banki	50
XII.	Datos necesarios para cálculos	51
XIII.	Potencia y voltaje	52

GLOSARIO

Banco de ensayo	instalación donde se realizan pruebas de funcionamiento a prototipos.
Capacidad	cantidad de fluido que es capaz de mover una máquina roto dinámica y de embolo.
Carcasa	caja metálica que convierte la energía de velocidad de un líquido en energía de presión.
Carga	presión que ejerce una columna de líquido por unidad de área: se puede expresar en unidades de longitud.
Chorro	corriente de fluido que sale de un orificio, una tobera o un tubo.
Impulsor	es un cilindro fundido, constituido con alabes capaces de transmitir energía a un fluido.

Tobera	tubo convergente, o sea que tiene un diámetro en un extremo y otro diferente en el otro.
Tubo	tubería corta cuya longitud no excede más de dos o tres diámetros.
Turbina	máquina que transforma la energía cinética del fluido en trabajo mecánico.
Vertedero	desaguadero de líquido, donde se puede medir la cantidad del mismo que pasa por unidad de tiempo.

LISTA DE SÍMBOLOS

E	Energía en forma general
Ec	Energía cinética
Ep	Energía potencial
Eh	Energía hidráulica
H	Altura neta
hi	altura medida desde un nivel de referencia hasta punto deseado.
	densidad del agua, en Kg / m ³
	peso específico del agua, N/m ³
	eficiencia
	valor de pi = 3.1416
q,Q	caudal en m ³ /min
v,V	volumen en m ³

RESUMEN

El presente trabajo de graduación, es un manual para el desarrollo del laboratorio del curso de máquinas hidráulicas.

Aquí encontrará una propuesta para trabajar en el mismo con las máquinas asignadas para el laboratorio. Las prácticas fueron desarrolladas en capítulos del manual relacionados con la ubicación de las máquinas, de tal forma que el desarrollo de los laboratorios siga el orden de ubicación de las mismas; ya que están ubicadas en pares, a saber, dos en el parque tecnológico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos y dos ubicadas en el edificio de laboratorios de Hidráulica de la misma facultad. Siguiendo este orden podemos supervisar dos grupos a la vez.

En el capítulo I se da en forma detallada una descripción de **la bomba de ariete hidráulico**, la cuál se define como un aparato que utiliza la fuerza del agua que bombea, para elevar ésta a una altura mayor a la de su caída. Se da una descripción de sus componentes y funcionamiento de la misma, así como las fórmulas utilizadas para interpretar los datos obtenidos y comparar con los datos reales para esta bomba. Se dan una serie de gráficas para comparar su eficiencia.

En el capítulo II se detalla una turbina de tipo pelton, dando una definición de lo que es una turbina, y sus clasificaciones, así como también se define una turbina pelton, y sus aplicaciones.

Este laboratorio se desarrolla también en el parque tecnológico con una turbina de este tipo, que tiene un rodete de 6 pulgadas de diámetro, con un generador tipo bobina de corriente directa, abastecida por dos tuberías de pvc que están acopladas a un depósito colocado a 4 m de altura en una base metálica. Estas tuberías entran en la turbina y pasan por unas toberas tipo

aguja que le imprimen mayor velocidad al flujo de agua y así se genera la fuerza para mover el rodete de la turbina.

Se deben tomar las medidas eléctricas que obtenemos en el tablero de medidores ubicado dentro de una cabina azul.

Se comprobará si la turbina cumple o no con las condiciones para la cual fue creada.

El capítulo III está enfocado en una turbina tipo Michell Banki, de origen húngaro. Este equipo está ubicado en el laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería.

Al igual que en los anteriores se desarrolla una teoría básica de esta turbina, y se describe la forma de hacer esta práctica.

El último capítulo es un instructivo didáctico para reconocer una bomba centrífuga horizontal.

OBJETIVOS

General

Contar con el manual necesario que recopile los diferentes ensayos, pruebas y datos, para la comparación del uso correcto de la maquinaria y desarrollo de los ensayos.-

Específicos

1. Definir los ensayos y pruebas de cada una de las máquinas a usar.
2. Demostrar experimentalmente la aplicación práctica de las fórmulas utilizadas en el curso de Máquinas Hidráulicas.
3. Determinar el funcionamiento correcto, la obtención y tabulación de datos con las mismas.
4. Tener una guía confiable para la calibración de máquinas utilizadas en laboratorio

INTRODUCCIÓN

La mecánica de fluidos tiene muchas aplicaciones prácticas, que el ingeniero mecánico utiliza, como una medición de flujos, transformación de energía hidráulica en energía mecánica, y otras muchas más, pero en este trabajo se desarrollarán aplicaciones específicas útiles en el curso de Máquinas Hidráulicas para la carrera de ingeniería mecánica.

Se desarrollarán temas como el Ariete Hidráulico, que es una bomba hidráulica que utiliza la energía potencial del agua, que se convierte en energía cinética utilizando una caída para luego al entrar en el dispositivo se provoca un fenómeno conocido como golpe de ariete, y transformamos esta energía en energía de presión, con lo cual se eleva el líquido a una altura mayor a la que tenemos en la caída, esta bomba tiene un desperdicio de agua muy grande pero se compensa, con su utilización durante todo el tiempo necesario sin utilizar alguna energía generada por combustibles fósiles u otro tipo que se vende en el mercado, sólo se utiliza la energía de la misma agua que se está elevando.

Para efectuar éste laboratorio se cuenta con una bomba de este tipo en el Parque Tecnológico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para esto se tiene la bomba conectada a un depósito de agua y desde ahí generamos la caída.

El otro laboratorio que podemos realizar en este parque, es el de generación eléctrica por medio de una turbina tipo Pelton, con un rodete de 6 pulgadas de diámetro, que cuenta con dos chorros que la hacen girar y con

esto proporcionar la energía para mover un generador tipo dinamo que nos provee de corriente alterna y 12 voltios. Con esta energía hacemos funcionar dos luces incandescentes con lo que comprobamos que si se está generando electricidad.

Como parte de este laboratorio es enseñar lo que es un turbina, las cuales son máquinas hidráulicas que transforman la energía del fluido en movimiento y en energía mecánica que trasladada a un generador eléctrico nos transforma esta energía en electricidad utilizable.

El otro laboratorio que se desarrollará, es el de otra turbina, la conocida como turbina Michell Banki o turbina tipo Ossberger, que al igual que la turbina Pelton , es una turbina de impulsión, que cuenta con una pala motriz móvil con la cual se direcciona el flujo de agua que moverá la turbina, está conectada a un generador eléctrico tipo alternador, el mismo utilizado en vehículos automotrices, que genera 12 voltio.

Esta turbina está montada en un banco de trabajo que cuenta con un circuito hidráulico y otro eléctrico, para poder hacer la generación de electricidad.

El circuito hidráulico esta compuesto por un motor de 5 hp conectado a una bomba centrífuga, que conduce el líquido a través de una tubería de pvc que cae en el adaptador de la turbina, al salir el líquido de la turbina, esta es arrastrada por la misma velocidad con que sale, a un depósito que cuenta con un vertedero tipo triangular de pared delgada. Es importante dejar constancia que el fluido sale en forma turbulenta en algunos momentos de la prueba, y que para hacer las mediciones en el vertedero necesitamos un flujo laminar, este banco de pruebas cuenta con unas pantallas perforadas metálicas, que van

modulando el flujo hasta volverlo laminar, donde ya se pueden hacer las mediciones necesarias.

Con estos dos laboratorios se quiere demostrar la eficiencia de las turbinas y, enseñar que se puede obtener energía limpia, es decir sin contaminar el ambiente con la quema de materiales fósiles, además que el costo más elevado es el la inversión inicial pero que es recuperable con ganancias libres en un corto tiempo.

El último laboratorio, es el de una bomba centrífuga. Una bomba hidráulica es una máquina que movida por un motor eléctrico o una turbina, le transfiere energía de velocidad o presión a un fluido para moverlo de un lugar a otro o para aumentarle la presión del trabajo. En este laboratorio solamente se mostrarán las diferentes partes y elementos que conforman la bomba, y para esto se contó con una bomba ya desarmada del tipo centrífuga horizontal, donde se pueden apreciar sus componentes como lo son, las estopas y estoperos, los cojinetes, los impulsores, etc..

El laboratorio de la turbina tipo Mitchell Banki y el de la bomba centrífuga se desarrollarán en las instalaciones del laboratorio de hidráulica en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

1. LABORATORIO No 1

LA BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO

1.1 Objetivos del laboratorio

General

Determinar la funcionalidad de la bomba de ariete hidráulico, y demostrar si cumple o no con las ecuaciones experimentales que hemos encontrado.

Específicos

1. Conocer detalladamente el funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico y comprobar si es funcional dentro de un campo de aplicación.
2. Dar a conocer una fuente de abastecimiento de agua tierra arriba sin necesidad de utilizar energía proveniente de algún combustible fósil u orgánico.
3. Tener una herramienta útil para poder mejorar el aprendizaje de lo perjudicial o beneficioso que puede ser el fenómeno conocido como golpe de ariete.
4. Calcular la eficiencia de esta bomba de energía limpia.

Figura 1. **Ariete hidráulico**



1.2 Marco teórico

La **BOMBA DE ARIETE HIDRÁULICO** es realmente una de las máquinas elevadoras de agua más sencillas, y cuya energía de operación puede obtenerse del mismo líquido que ha de elevar. Esta bomba fue patentada por el francés Joseph Montgolfier en 1796.

Para su funcionamiento, el ariete hidráulico aprovecha la energía cinética del agua provocada por una caída, convirtiéndola en energía de presión, que eleva parte del mismo líquido hacia un punto de mayor altura.

Esta energía de presión se produce deteniendo súbitamente, el movimiento del agua, dentro de la tubería de abastecimiento, lo que provoca el funcionamiento automático de la bomba de ariete hidráulico. Durante este proceso existe pérdida de energía, parte de ésta se libera cuando la bomba expulsa una porción del agua que le está entrando. Esta transformación de energía constituye parte fundamental en el funcionamiento automático de la bomba de ariete hidráulico provocado por el fenómeno conocido como **GOLPE DE ARIETE HIDRÁULICO**.

1.2.1 Golpe de ariete

Cuando en un punto de una tubería, a través de la cual fluye agua, se interrumpe bruscamente el paso de ésta, se provoca una elevación del gradiente hidráulica por encima de la presión estática, transformándose la energía cinética en energía de presión, siendo éste el fenómeno llamado GOLPE DE ARIETE, el cual constituye el principio de funcionamiento de la bomba de agua. La interrupción brusca del movimiento del agua provocará la expansión de las paredes del tubo y la compresión de la misma.

1.2.2 Energía potencial y cinética

La energía potencial es aquella que posee un cuerpo o un líquido en reposo dependiendo de su altura, su masa y la gravedad del lugar donde se ubique. Por lo tanto, la energía potencial que aprovecharemos en nuestro sistema de ariete hidráulico está en función de la altura del depósito de agua, (para este laboratorio esta es de 4 m).

Figura 2. Depósito de agua



La energía cinética es la que posee un cuerpo, sólido o fluido, en función de su velocidad, ésta la obtenemos de convertir la energía potencial dejando fluir el agua por una tubería hasta la entrada de la bomba que se encuentra a 0.33 m del suelo.

Al frenar, súbitamente, el movimiento del agua se produce el golpe de ariete, y la energía cinética se transforma en energía de presión, comprimiendo el aire en la cámara de la misma, elevando así el agua en la tubería de descarga.

1.2.3 Limitaciones hidráulicas

Hay ciertas condiciones que debemos considerar para que funcione bien el equipo hidráulico, éstas son:

- tener una caída con un flujo de por lo menos 0.10 litros por segundo
- una altura mínima a la caída de 0.50 m
- el tubo de impulsión de la bomba debe estar lleno de agua
- esta tubería debe guardar una pendiente de inclinación constante y recta respecto al ariete, en este caso forma un ángulo de 120° respecto a la horizontal, evitando codos o curvas cerradas y no debe haber puntos más altos en donde se pueda acumular el aire
- en regiones muy frías, se debe tener cuidado de cubrir el equipo para evitar congelación

- la longitud del tubo de impulsión entre la caída y el ariete hidráulico debe ser, como máximo, seis veces la altura de la caída disponible.

1.2.4 Fórmulas a utilizar

1.2.4.1 Rendimiento (R)

El rendimiento de la bomba de ariete hidráulico representa el porcentaje de agua que se puede bombear con relación al total de la canalizada por la misma, y varía en función del cociente h/H. Al aumentar el valor resultante, el rendimiento disminuye. En la tabla siguiente se puede ver cómo varía el rendimiento energético.

Tabla I. Rendimiento hidráulico de bomba de ariete

h/H	2	3	4	6	8	10	12
R	0.85	0.81	0.76	0.67	0.57	0.43	0.23

Donde:

h/H = cociente entre altura de descarga o de elevación entre la altura neta de caída o abastecimiento.

R = El rendimiento que se obtiene de dividir el caudal elevado o de descarga entre el caudal de caída o abastecimiento.

La elevación de la gradiente hidráulica o sobre presión es equivalente a:

$$H = (V \times V_w)/g$$

Siendo V_w la velocidad de la onda de presión, v la velocidad del agua en el tubo y g la aceleración de la gravedad. En este caso la altura es constante de 4 metros, donde se encuentra el depósito que nos proveerá el caudal para la práctica.

1.2.4.2 El caudal elevado

Depende del rendimiento (R), el caudal de alimentación (Q), el desnivel de trabajo (H) y la altura de elevación (h). La ecuación que nos relaciona estos datos es la siguiente:

$$q = R \times Q \times H/h$$

Dónde Q = el caudal de alimentación

H = la altura de carga o abastecimiento

h = altura de descarga.

Las eficiencias para este tipo de bombas son dos la de Rankine y la de D'Aubuisson. Utilizando las relaciones siguientes.

$$ER = (Q_2 \times h - H) / (Q_3 \times H)$$

Dónde:

Q_2 = caudal de descarga

Q_3 = la diferencia entre caudal de abastecimiento y caudal de descarga, al que llamaremos caudal de desperdicio.

Todos los caudales están en litros por segundo.

La eficiencia de D'Aubuisson viene dada por la ecuación siguiente

$$EA = (Q_2 \times h) / (H (Q_2 + Q_3))$$

1.3 Descripción de equipo a utilizar

Para el presente laboratorio utilizaremos un depósito de agua de 750 litros colocado en una torre con una elevación de 4 metros del nivel del suelo. Para medir caudales necesitaremos una cubeta cilíndrica de 0.304 m de diámetro y 0.40 m de altura, un cronómetro y una regla en centímetro.

La bomba de ariete hidráulico esta compuesta de las siguientes partes:

- **Una válvula de globo** de 1" de diámetro a la entrada de la bomba, la cual nos ayudará a regular el caudal de entrada.
- **La válvula de impulso**, compuesta por un resorte hecho de una lámina hembra, con una vuelta de 180° formando una U, el extremo opuesto a la vuelta queda abierto, y en la parte superior esta anclado por medio de un tornillo con tuerca la válvula de impulso, la cual se encuentra conectada al ariete por medio de un niple de rosca corrida, que servirá para formar el sello necesario y al mismo tiempo el alivio para el caudal de desperdicio; además muy cerca de la orilla también cuenta con un tornillo que sirve para regular los impulsos por minuto a los cuales funciona la válvula de impulso. Este mecanismo está atornillado en el extremo inferior al equipo por medio de tornillos y una plancha soldada al ariete. Ver figura de la bomba de ariete hidráulico en anexo.
- **La válvula de liberación** es la que nos conecta la caja de válvulas del ariete con la cámara de aire y está compuesta por un niple de 2" de diámetro y rosca corrida que hace de cilindro para un pistón fabricado con una lámina circular con orificios y hules unidas por un tornillo, además el niple roscado cuenta con un orificio en un costado y a la mitad

de su altura, de 1 mm de diámetro que cuenta con un sello de hule en su parte interior y que va unido a un hilo plástico que conecta a la parte exterior, éste nos ayuda a formar la presión en la cámara de aire.

- **La cámara de aire**, consiste en un tubo de hierro galvanizado de 2" de diámetro y 50 cm de largo roscada de ambos lados, y unida a un extremo al niple que nos hace la válvula de liberación, y el otro extremo lleva un tapón siempre de hierro galvanizado.
- **La tubería de salida de $\frac{3}{4}$ "** unida al ariete por un reductor de 1" a $\frac{3}{4}$ ", una llave de globo, un codo a 90° hacia arriba con una tubería de 40cm de altura de Hg.

Figura 3. Ariete hidráulico y sus componentes

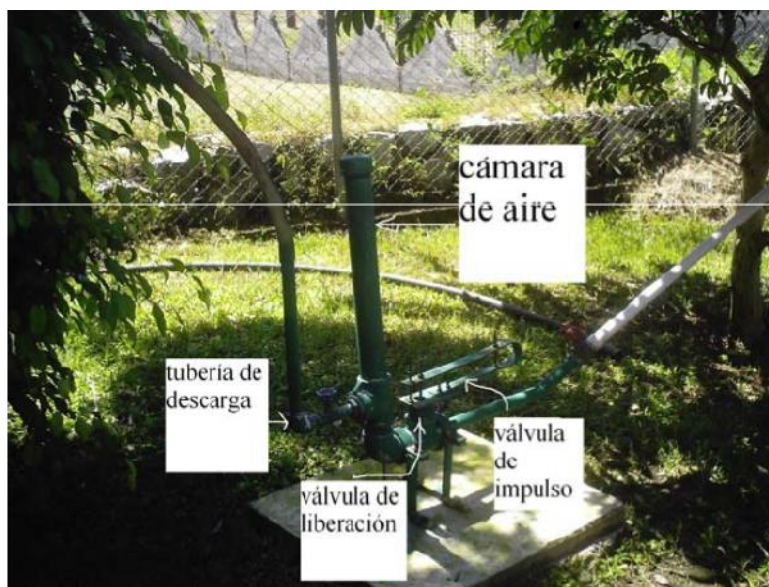


Figura 4. Ariete hidráulico y sus componentes



Todo este equipo lo tenemos en el área del PARQUE TECNOLÓGICO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, a un costado del edificio T-7 de la Escuela de Ingeniería Mecánica.-

Nota: las dimensiones de la tubería utilizada viene dada en pulgadas y para las alturas unidades en metros porque en el mercado los diámetros vienen dados en pulgadas.

1.4 Desarrollo del laboratorio

1.4.1 Funcionamiento de la bomba de ariete hidráulico

Al abrir la válvula de globo de la tubería de entrada, el agua proveniente del depósito, pasa a través de la válvula de impulso con una velocidad creciente; la fuerza desarrollada por el agua motriz, o sea, la energía cinética que ha ganado el agua a la caída, vence finalmente el peso de la válvula de impulso provocándose el movimiento violento del émbolo de la misma, este

mecanismo frena, súbitamente, el movimiento del agua produciéndose, así, el GOLPE DE ARIETE.

Este abre la válvula de liberación deformando el empaque de hule colocado debajo de la cámara de aire, con lo que el agua entra rápidamente en ésta, comprimiendo el aire que se encuentra dentro de la cámara. Esto forma una depresión en el tubo de entrada que junto con el peso del agua y la presión del aire que se comprime dentro de la cámara, producen el cierre simultáneo y momentáneo, de las válvulas de liberación e impulso. La onda sigue corriendo hacia arriba y es vencida por la fuerza de presión del agua a la caída, a la vez que el agua contenida en la cámara de aire es desplazada por el aire comprimido y expulsada por la tubería de descarga. Esto ocurre indefinidamente, dándose así, el funcionamiento automático de la **bomba de ariete hidráulico**.

Para poner a funcionar la bomba en estudio, se cierra la llave de globo en la tubería de descarga y se abre la llave de globo en la tubería de abastecimiento, se empuja hacia abajo la válvula de impulso por unos segundos y luego se suelta para que el agua empuje la misma hacia arriba y la cierre, formándose el golpe de ariete y de esta se quedará funcionando automáticamente. Si esto no sucede hay que repetir la operación de bajar la válvula de impulso cuantas veces sea necesario para que empiece a funcionar.-

1.4.2 Desarrollo del laboratorio

Para realizar el presente laboratorio, utilizaremos un recipiente previamente calibrado para medir el caudal de entrada, este podrá consistir en una cubeta cilíndrica de 0.304 m de diámetro y una altura aproximada de 0.40 m.

Procedemos a cerrar la llave de globo que se encuentra a la entrada de la bomba, y abrimos otra llave similar que se encuentra un poco más arriba sobre la tubería de alimentación unidas por una T de PVC a otra llave similar que descarga el caudal hacia el exterior donde podemos colocar la cubeta y tomar la medida necesaria, dejando correr un caudal el cual se medirá tomando un tiempo, y midiendo la altura a la cual llegó el agua dentro de la cubeta. Auxiliados por la formula de volumen

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

Dónde:

h = es una variable a determinar.

Este caudal también dependerá de la altura a la que se encuentre el agua en el depósito puesto que al haber mayor altura existirá mayor presión hidráulica; esto es importante determinar, para esto, el depósito de pruebas que se encuentra a 4 metros de altura, cuenta con un indicador de nivel, que consiste en una tuerca la cual al encontrarse en la base del mismo nos indica que esta lleno con una altura de agua de 0.846 m y al encontrarse a la mitad nos indica que el agua se encuentra a la mitad del depósito con una altura de agua de 0.423 m.

Para medir este caudal, debemos tener cuidado que las llaves de globo que se encuentran en la tubería de abastecimiento a la entrada de la bomba, y la tubería de descarga que se encuentra al final de la misma, estén cerradas.

Luego de haber medido el caudal, procedemos a cerrar la llave donde aforamos el mismo, y dejamos fluir el agua hacia la bomba, y abrimos la llave de entrada a la misma, dejando que la válvula de impulso empiece a funcionar, algunas veces debemos bombear manualmente esta válvula, para que funcione, debido al desgaste que tiene ya el equipo de pruebas, otro paso

importante para que funcione correctamente el aparato es que debemos cerrar la válvula de aire, este procediendo se lleva a cabo al halar un hilo plástico que se encuentra en el orificio diseñado para este efecto, a un costado del niple que une el ariete con la cámara de aire. Cuando logramos hacer funcionar la válvula de impulso, procedemos a abrir la llave de globo que se encuentra al principio de la tubería de descarga.

Debemos tomar también el caudal que llega a la altura determinada en la tubería de descarga, que consiste en una manguera de plástico transparente, y que la salida se encuentra a aproximadamente de 5.7 m, en esta prueba.

Este paso lo debemos repetir por lo menos para cinco caudales diferentes.

Debemos realizar una tabla donde tabularemos los datos recabados y sugerimos la siguiente forma:

Tabla II. **Ejemplo de tabla a usar para datos**

número de pulsaciones por minuto	caudal de abastecimiento Q1 (l/seg)	caudal de descarga Q2 (l/seg)	caudal de desperdicio Q3=Q1-Q2 (l/seg)	altura de agua en deposito

Con estos datos procederemos a calcular las eficiencias de Rankine y de D'Aubuisson. Además debemos calcular el caudal esperado utilizando **la ecuación de caudal elevado**.

Para concluir hay que graficar en papel milimetrado los resultados en porcentaje de Q de descarga/ Q de abastecimiento vrs impulsos por minuto y Q de desperdicio/Q de abastecimiento vrs impulsos por minuto.

NOTA: Los impulsos por minuto los modificamos en el tornillo libre que se encuentra en el extremo superior del resorte en U de la válvula de impulso. Hay que calibrar para cada caudal.

1.5 Tabulación de datos obtenidos

Para obtener los datos que exponemos a continuación se utilizó la misma bomba de ariete hidráulico que está ahora colocada en el parque tecnológico. En esta ocasión teníamos una altura de abastecimiento de 7.06 m y una descarga de 16.77 m.

Tabla III. **Datos obtenidos para el ariete hidráulico**

número de pulsaciones por minuto	caudal de abastecimiento Q1 (l/seg)	Caudal de descarga Q2 (l/seg)	caudal de desperdicio Q3=Q1-Q2 (l/seg)	Q2/Q1 %
94	0.251	0.052	0.199	20.71
90	0.209	0.067	0.142	32.05
84	0.237	0.036	0.201	15.18
80	0.334	0.049	0.285	14.67

Tabla IV. Eficiencias Rankine y D'Aubuisson

neúmero de pulsaciones por minuto	Altura de abastecimiento H m	Altura de descarga h m	caudal de desperdicio Q3=Q1-Q2 (l/seg)	Eficiencia de Rankine
94	7.06	16.77	0.199	35.94%
90	7.06	16.77	0.142	64.89%
84	7.06	16.77	0.201	24.63%
80	7.06	16.77	0.285	23.65%
número de pulsaciones por minuto	Altura de abastecimiento H m	Altura de descarga H m	caudal de desperdicio Q3=Q1-Q2 (l/seg)	Eficiencia de D'Aubuisson
94	7.06	16.77	0.199	49.21%
90	7.06	16.77	0.142	76.15%
84	7.06	16.77	0.201	36.08%
80	7.06	16.77	0.285	34.85%

Observamos en los datos obtenidos anteriormente que la mejor eficiencia de nuestro equipo fue cuando operamos a 90 pulsaciones por minuto.

1.6 Gráficas

Figura 5. Caudal de abastecimiento Vrs. pulsaciones por minuto

GRAFICA No.1

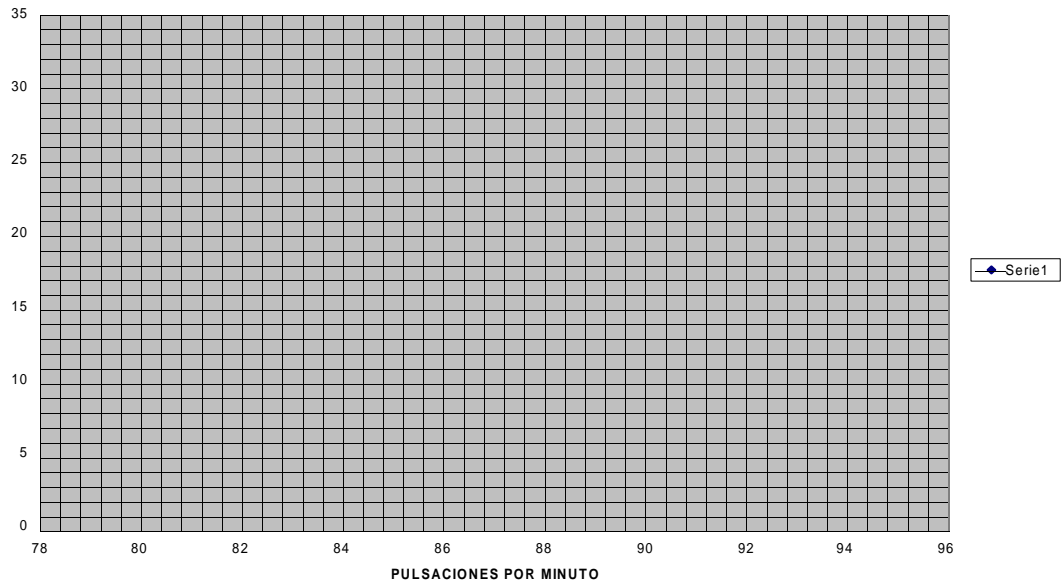
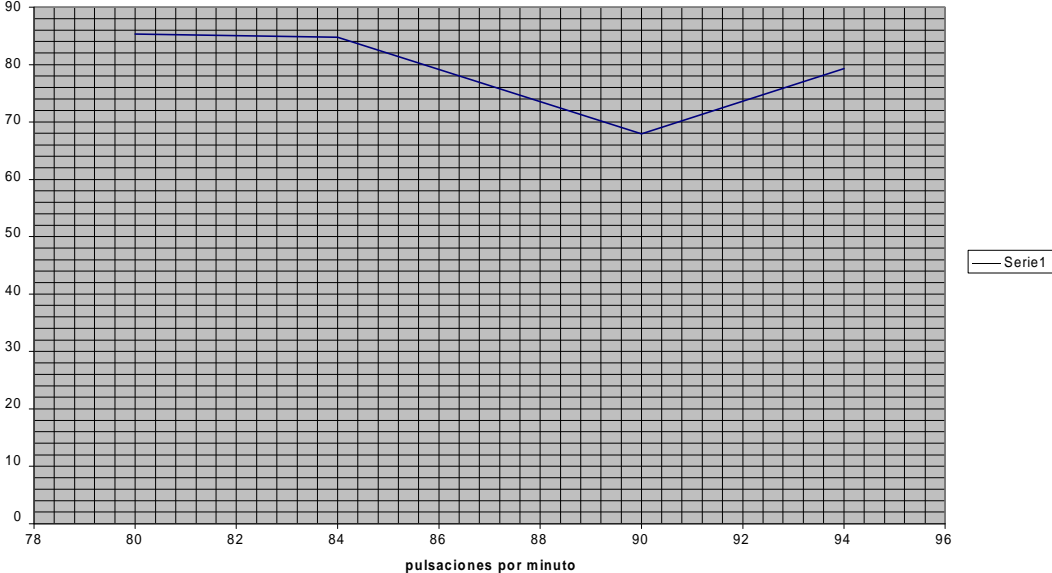


Figura 6. Caudal de desperdicio Vrs. pulsaciones por minuto

GRAFICA No.2



1.7 Conclusiones capítulo I

1. Podemos afirmar que la bomba de ariete hidráulico es una fuente económica para elevar un caudal de agua durante todos los días del año y con un mínimo mantenimiento.
2. No necesitamos utilizar ningún tipo de combustible o energía que no sea la proporcionada por la misma agua que vamos a utilizar.
3. Utilizado de esta forma el golpe de ariete nos proporciona una energía útil para nuestros fines.
4. En los resultados obtenidos en las pruebas efectuadas al ariete hidráulico puede observarse que a valores de pulsaciones por minuto diferentes se tiene caudales de abastecimiento y desperdicio similar, observándose la diferencia en los caudales de descarga. Esto se debe a que si se aumenta la tensión en el resorte impulsor, la bomba de ariete hidráulico trabaja despacio bombeando mayor cantidad de agua al punto de descarga, pero, requiriendo un mayor caudal de abastecimiento para funcionar automáticamente. Otra razón es que con chimenea de alivio entre el depósito de abastecimiento y la bomba, la onda de presión se desvanece a menor distancia.
5. En el cálculo de la eficiencia de Rankine, se observa en los resultados obtenidos que para diferente número de pulsaciones por minuto, los caudales de abastecimiento son similares, pero, la diferencia está en los valores de caudal de desperdicio.

6. Las válvulas de globo colocadas a la entrada y a la salida de la bomba de ariete hidráulico ocasionan mayores pérdidas de carga debido a la forma de funcionamiento.

1.8 Recomendaciones capítulo I

1. Mejorar la tubería de descarga, evitando curvas muy pronunciadas y estrangulamiento de la misma, ya que con esto aumentamos las pérdidas en la misma y limitamos la eficiencia de la bomba de ariete hidráulico.
2. Mejorar también la tubería de abastecimiento tratando que esté con una pendiente recta en toda su extensión, ya que actualmente se encuentra con una curvatura que provoca pérdidas, así también mejorar la unión con la toma de agua en el tanque pues en actualmente se une por medio de una manguera flexible y hay muchas pérdidas por este motivo.
3. Crear un sistema de recolección de agua desperdiciada para se utilizada de buena forma y evitar así que se desperdicie literalmente, esto se puede hacer fabricando unos canales de concreto y llevarlos a un depósito del mismo material y de ahí bombearla para el depósito de altura o para otro propósito.
4. En la medida de lo posible techar e iluminar el parque tecnológico para poder realizar los laboratorios en cualquier época del año, pues en invierno es bastante difícil poder realizar los mismos.
5. Conservar el parque tecnológico y tratar e implementarlo con otros equipos didácticos con el mismo fin.

2. LABORATORIO No. 2

LA TURBINA PELTON

2.1 Objetivos del laboratorio

General

Con el equipo disponible, poder generar energía eléctrica para encender dos bombillas de 3W y 12 V cada una conectadas en paralelo.

Específicos

1. Comprobar experimentalmente que con un caudal bajo podemos hacer funcionar la turbina tipo pelton.
2. Que podamos observar el funcionamiento de una turbina de este tipo utilizando un modelo a escala.
3. Generar energía eléctrica con una pendiente elevada y poco caudal como debe funcionar una turbina pelton.

2.2 Marco teórico

2.2 .1 Turbina hidráulica

Las turbinas extraen energía de un flujo de agua y la convierten en energía mecánica para mover generadores eléctricos.

La energía hidráulica es aquella que se obtiene de una caída de agua desde cierta altura a un nivel inferior o bien utilizando un cierto caudal de la misma.

Esta energía provoca un movimiento en los rodets de las turbinas convirtiendo así la energía de presión, cinética, y/o potencial en energía mecánica y transformarla en energía eléctrica.

2.2.2 Clasificación de turbinas

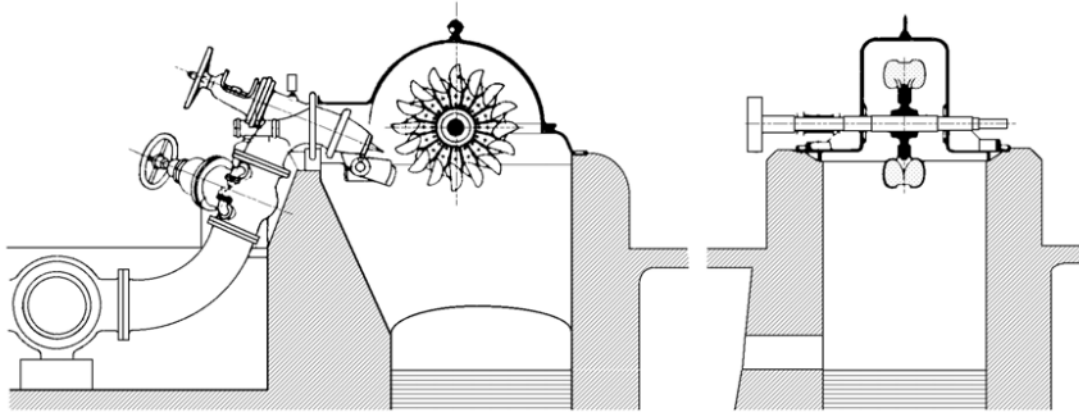
Hay dos tipos básicos de turbinas hidráulicas:

- TURBINAS DE IMPULSO
- TURBINAS DE REACCION

En las primeras un flujo libre de agua choca sobre el elemento giratorio de la máquina, que esta expuesto a la presión atmosférica. En las segundas el flujo transcurre bajo presión en una cámara cerrada. La energía suministrada a una turbina de impulso es toda cinética, mientras que la turbina de reacción utiliza tanto energía de presión como energía cinética.

Las turbinas funciona a velocidad constante; cuando queremos una corriente eléctrica de 60 Hz que es la mas común en nuestro medio las condiciones para la velocidad angular o de rotación n de una turbina en revoluciones por minuto viene dada por $N = 7,200/n$ donde N es el número de polos en el regenerador y debe ser un numero entero par.

Figura 7. Ilustración de turbina pelton



2.2.2.1 La turbina de impulso

Rueda Pelton llamada así en honor a Lester Pelton es una rueda que tiene una serie de cucharas localizadas a lo largo de su periferia (fig 5).

Las cucharas pueden ser fundidas individualmente y atornilladas a la estrella central, o más comúnmente, la rueda entera es fundida como un solo elemento.

Esta es una turbina de chorro libre que se acomoda a la utilización de saltos de agua con desniveles grandes o lo que es lo mismo saltos de gran altura de 200 m y mayores, y poco caudal de hasta 10 m/s. En una turbina de esta clase la dirección del chorro no es ni axial ni radial, sino tangencial a las cazoletas de doble cuchara que recibe el chorro exactamente en su arista media donde se divide en dos, circulando por su cavidad y recorriendo hasta la salida casi a 180°. El inyector, es el elemento regulador del caudal del chorro, el cual incide como ya dijimos en la parte media de las cucharas tangencialmente y luego cae por gravedad a un depósito o a la fuente de suministro.

2.2.2.2 Funcionamiento

Cuando el chorro choca con el borde que divide la cuchara en dos partes simétricas, el mismo se parte en dos mitades que descargan a ambos lados de la cuchara. Cada cuchara dividida tiene una ranura que permite a la misma alcanzar una posición casi tangente a la dirección del chorro antes de que el borde de la cuchara lo intercepte. En turbinas pequeñas solo se utiliza un inyector, pero a menudo en las unidades grandes se utilizan dos o más chorros incidiendo en diferentes puntos alrededor de la rueda. Los chorros son producidos normalmente por un inyector de aguja. (Figura 6)

Figura 8. Aguja de chorro



El rotor generador (Fig. 7) esta normalmente montado sobre un eje horizontal entre dos rodamientos con el rodete instalado en el extremo saliente del eje; algunas ruedas modernas están montadas sobre un eje vertical por debajo del generador y son movidas por chorros de varios inyectores espaciados uniformemente alrededor de la periferia de la rueda. Este diseño es el que utilizaremos en nuestro laboratorio.

Figura 9. Rodete con cucharas turbina Pelton



Para una buena eficiencia el ancho del alabe debería ser de tres o cuatro veces el diámetro del chorro y el diámetro de la rueda normalmente es de quince a veinte veces el diámetro del chorro. El diámetro de la rueda también denominado diámetro de paso es el círculo de la línea central del chorro tangente al mismo.

2.3 Fórmulas a utilizar

Para encontrar la altura efectiva utilizaremos la siguiente fórmula

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

Donde:

z = cota topográfica (altura de la torre)

V = velocidad del fluido (agua)

P = presión que se encuentra el fluido

g = gravedad

ρ = específico del agua

Para encontrar la potencia utilizaremos

$$P = (\rho \cdot Q \cdot h) / 550$$

La potencia del chorro viene dada por

$$P_{ch} = \rho \cdot Q \cdot v_{ch}^2 / 2g$$

El volumen se calculará por medio de

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

El caudal viene dado por

$$V = Q \cdot A$$

2.4 Descripción de equipo a utilizar

2.4.1 El tanque

El tanque utilizado para la elaboración de este laboratorio es el mismo utilizado en el laboratorio anterior, y consiste en uno de 750 litros de capacidad y ubicado a una altura de 4 m. Este tanque cuenta con dos salidas de agua en su parte inferior conectas a ellas se encuentran una manguera en cada salida de plástico transparente.

2.4.2 Tuberías, mangueras y válvulas de cierre

Las mangueras están conectadas al tanque por medio de tubería galvanizada, conocida como niples y reductores de campana, estas mangueras son transparentes de 3/4", a la mitad de su recorrido ambas mangueras fueron divididas en dos y se colocaron entre las dos mitades, sendas válvulas de globo de reacción inmediata. Luego vuelven a salir mangueras plásticas que van a cada lado de la caja donde se encuentra la turbina.

2.4.3 La turbina-generator

La turbina que utilizada es de tipo PELTON. Tiene dos entradas de agua, con esto se garantiza que la energía suministrada sea la adecuada. Ésta 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. Está compuesta por un rodete de 0.13 m de diámetro, dos toberas tipo aguja de $\frac{3}{4}$ pulg. a la entrada y $\frac{1}{2}$ pulg. a la salida, y el generador de 12 voltios. Todo este equipo esta montado en una caja que tiene un depósito de desagüe que deja salir el agua a un depósito diseñado especialmente para este efecto. Todo está en una cabina con tres diferentes alturas para posicionar la misma.

Figura 10. Turbina pelton completa



2.4.4 La cabina

Está construida de metal y es de color azul, en la parte posterior tiene tres diferentes niveles para colocar la turbina para diferentes practicas, a un costado se encuentran dos bombillas de 3 w y 12 voltios cada una conectadas

en paralelo, las cuales alumbrarán al llegar a la revolución mínima de trabajo de la turbina, e irán aumentando su incandescencia al aumentar las revoluciones de la misma.

Figura 11. **Cabina de medidores eléctricos**



2.4.5 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. El rango del voltímetro es de 30 voltios y el del amperímetro es de 3 amperios.

2.5 Desarrollo del laboratorio

Para obtener los datos que a continuación se presentan, se realizaron diferentes pruebas con caudales diferentes de agua. Hay que recordar que el tanque tiene dos salidas, y la misma cantidad de entradas 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
- se cerraba parcialmente una válvula.

Para obtener los caudales, se llenó un recipiente cilíndrico y se midió el tiempo de llenado, repitiéndose la operación para cada práctica.

El recipiente utilizado para el aforo volumétrico, fue una cubeta de 0.304 m de diámetro y aproximadamente 0.40 m de altura.

Los datos para el caudal se dividen en dos partes. Se midió el caudal, cuando el tanque se encontraba lleno y a la mitad.

Antes de empezar debemos confirmar que el depósito este lleno de agua, lo cual podemos hacerlo visualmente con la tuerca que sirve de nivel, al confirmar la altura del agua, procedemos a medir los caudales que utilizaremos para poner a funcionar la turbina, un caudal para cada manguera, esto se hace desconectando las mangueras de la turbina y abriendo a la posición que deseamos cada una de las llaves de globo y midiendo el caudal tomando el tiempo necesario para llenar nuestro recipiente de aforo, se recomienda que se haga manguera por manguera o que se forme un grupo para cada una.

Después de tomar la medida del caudal en cada manguera, procedemos a conectarlas, **sin cerrar las llaves para no perder el caudal medido**, con esto veremos que la turbina comienza a trabajar y a generar voltaje, esto lo confirmamos con observar si las bombillas, que están ubicadas a un costado de

la cabina de instrumentos, encienden, si éste fuera el caso, entonces se procede a tomar lectura en el voltímetro y amperímetro, y anotar el caudal de entrada y las respectivas lecturas eléctricas.

Al haber tomado estos datos, procedemos a abrir aún mas las llaves de paso en las mangueras y a medir nuevamente los caudales, y repetir esta operación por lo menos con 4 caudales. Debemos tener cuidado de verificar que al tomar estas medidas de caudal el depósito se encuentre lleno, para luego repetir estos pasos cuando el mismo se encuentre a la mitad de su capacidad.

Estas pruebas hay que repetir las para cada altura a la que podemos colocar la turbina en la parte posterior de la cabina de instrumentos.

Es importante recomendar a las personas que realizan esta práctica que deben vestir ropa adecuada para mojarse, ya que cuando se toman las medidas de caudal hay que desenroscar las mangueras de las entradas de la turbina y volverlas a roscar, así también que deben traer un alicate para aflojar y apretar bien las mangueras al realizar la operación de medición de caudal.

Este laboratorio, nos permite realizar varias prácticas ya que podemos ubicar la turbina en tres diferentes alturas en el soporte diseñado para tal objetivo, en parte posterior de la cabina de instrumentos, además tenemos dos alturas de trabajo en el depósito de agua, cuando esta lleno y a la mitad de su capacidad; por lo que en una sola sesión no se podrán realizar todas las prácticas.

2.6 Tabulación de datos obtenidos

Datos para calcular en caudal, con tanque lleno.

Tabla V. **Datos de caudal**

	H(cm)	tiempo (seg)	caudal (m³/seg)
DOS VÁLVULAS ABIERTAS	26.5	12.3	0.0016
UNA VÁLVUL ABIERTA	25.7	22.71	0.0008
UNA VÁLVUL ABIERTA A LA MITAD	15.8	21.03	0.00055

Tabla VI. **Datos para caudal con tanque a la mitad**

	H (cm)	tiempo (seg)	Caudal (m³/seg)
DOS VÁLVULAS ABIERTAS	22.7	11.2	0.00147
UNA VÁLVUL ABIERTA	11	10.6	0.00075
UNA VÁLVUL ABIERTA A LA MITAD	8.51	12.13	0.00051

Datos obtenidos con el tanque lleno de agua y con la turbina en posición superior.

Tabla VII. **Voltaje y amperaje con tanque lleno**

Caudal en (m ³ /seg)	voltaje	corriente (amp)	Encienden bombillas
0.0016	7.9	0.45	Si
0.00082	7.9	0.24	Si
0.00055	30	0	Desconectadas

Datos obtenidos con el tanque a la mitad de su capacidad y con la turbina en la posición superior.

Tabla VII. **Voltaje y amperaje con tanque a la mitad.**

Caudal en (m ³ /seg)	voltaje	corriente (amp)	encienden bombillas
0.00147	7.7	0.43	si
0.00075	7.7	0.23	si
0.00051	27.5	0	desconectadas

Ahora colocamos la turbina en posición de altura media en la parte posterior de la cabina, esto es un simple procedimiento, debemos tener cerradas las llaves de globo de las mangueras para evitar que corra agua, desconectamos las mismas de la turbina y procedemos a quitar los tornillos que sujetan la turbina a la base metálica que la soporta, y bajamos la misma a la posición deseada, y atornillamos. Procedemos a medir caudales y a conectar mangueras.

Tabla IX. Voltaje y amperaje con tanque lleno y turbina en posición intermedia

Caudal en (m ³ /seg)	voltaje	corriente (amp)	encienden bombillas
0.0016	7.9	0.52	si
0.00082	7.9	0.28	si
0.00055	30	0	desconectadas

Tabla X. Voltaje y amperaje con tanque a la mitad y con turbina en posición intermedia

Caudal en (m ³ /seg)	Voltaje	corriente (amp)	encienden bombillas
0.00147	7.9	0.47	si
0.00075	7.9	0.27	si
0.00051	30	0	desconectadas

2.7 Gráficas

Figura 12. Depósito lleno de agua y turbina en posición superior

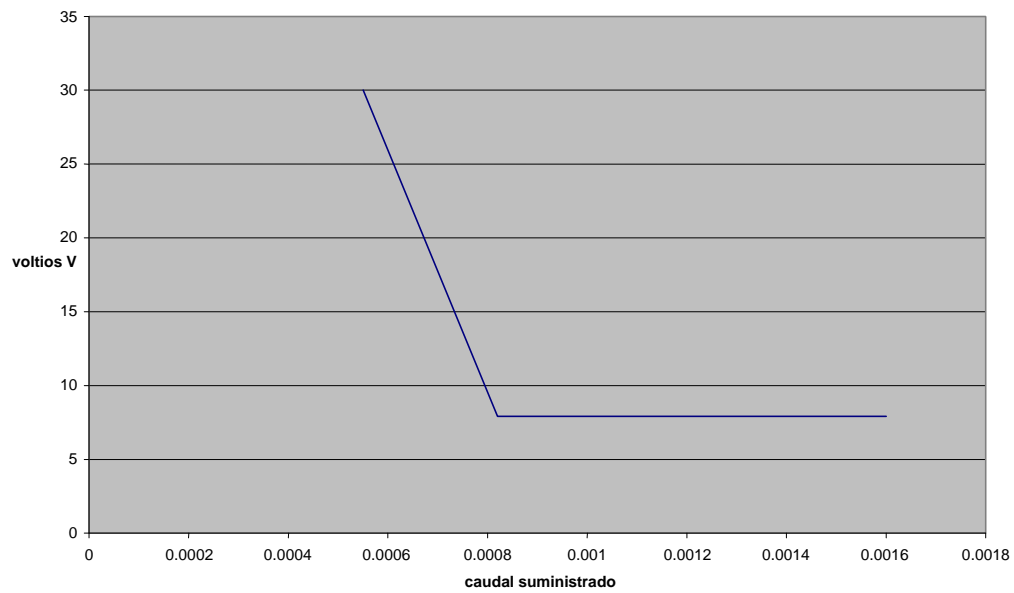
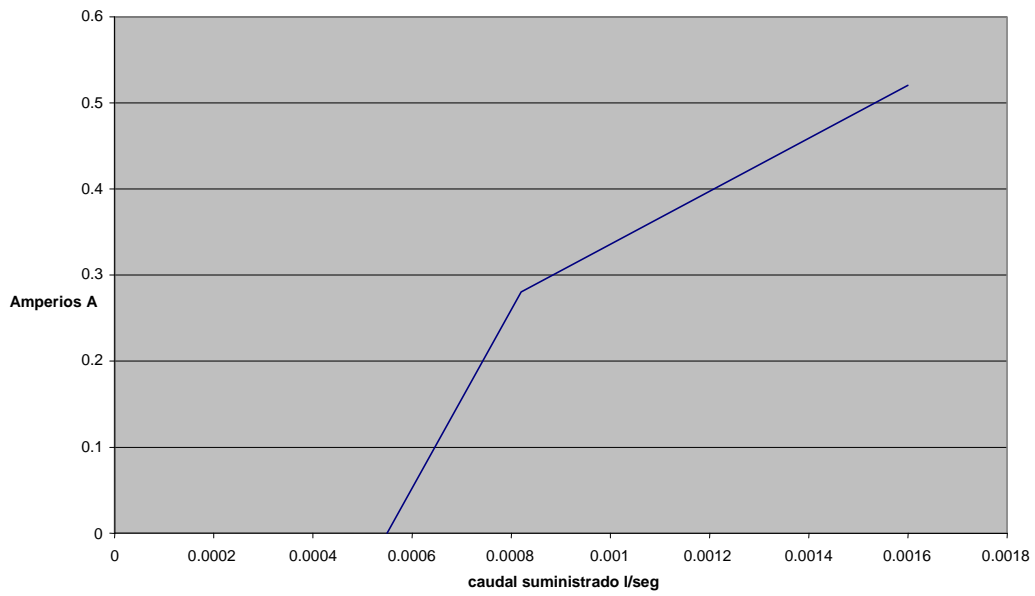


Figura 13. Con tanque lleno y la turbina en la posición intermedia



2.8 Conclusiones capítulo II

1. Podemos afirmar que la turbina pelton trabaja como era de esperar con caudales pequeños y pendientes muy elevadas
2. Es una fuente de energía eléctrica muy confiable y limpia, la cuál podemos utilizar en nuestro país ya que contamos con la topografía necesaria para lo mismo, tal vez una limitante sea lo difícil de llegar a estos lugares, el alto costo de la inversión inicial, pero las ganancias tanto económicas como ecológicas serían lo suficientemente altas como para justificar la inversión.

3. LABORATORIO No.3

LA TURBINA TIPO MICHELL BANKI

3.1 Objetivos del laboratorio

General

Dar a conocer el funcionamiento y rango de trabajo de una turbina de este tipo, la cual se adapta a caudales variables y caídas medias.

Específicos

1. Determinar los caudales apropiados para que funcione el generador de electricidad.
2. Calcular las velocidades a las cuales gira la turbina y proporcione la potencia requerida para accionar el generador.

3.2 Marco teórico

3.2.1 La turbina tipo Michell Banki

Esta es una turbina de origen Húngaro cuyo inventor fue el profesor Donat Banki de la universidad tecnológica de Hungría, esta se adapta a caudales variables. Esta turbina tiene poca competencia en el campo de los pequeños y medianos caudales.

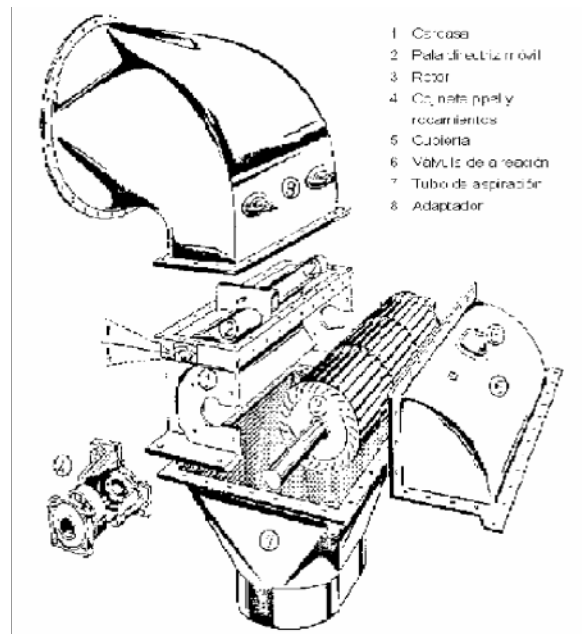
Su régimen de revoluciones viene a situarse entre 50 y 2000 r.p.m., en función de la caída y modelo de la turbina en concreto. Se encuentra entre las turbinas de régimen lento.

3.2.1.1 Descripción de una turbina tipo Michell Banki Fabricada por Ossberger Turbinefabrik

La turbina tipo Michell Banki es conocida también como turbina Ossberger porque es en Alemania donde se desarrolla una mejor técnica de construcción en las fabricas con el mismo nombre, y es comercializada en el mundo por esta marca.

En esta turbina el agua entra por el adaptador (8). La pala directriz móvil (2), o también llamada distribuidor, regula la cantidad de fluido que penetra en el interior, según gire sobre su eje, habilitando una entrada mayor o menor. Además se encarga de direccionar el flujo para que la interacción del fluido con el rodete sea óptima. El agua incide sobre el rodete (3), sobre los primeros alabes que encuentra en su camino, transmitiendo un par al conjunto, propiciando así el giro del rodete. Estos alabes funcionan casi completamente sumergidos (incluso con un cierto grado de reacción); solamente tienen una curvatura lineal (no están tensionados).

Figura 14. Componentes de turbina Michell Banki



Una vez atravesados estos alabes, el fluido evoluciona en el interior cambiando de sentido y reincide sobre los alabes inferiores, ayudando en la transmisión de momento. Ese cambio de dirección no resulta fácil y da lugar a una serie de choques que son la causa de su bajo rendimiento nominal.

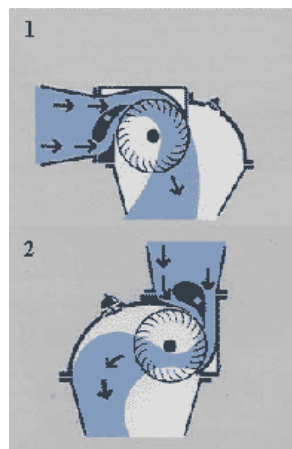
El rodete consta de dos o más discos paralelos, entre los que se montan, cerca del borde, unas laminas cuadradas que hacen el papel de alabes, por lo que su construcción artesanal es factible, aunque naturalmente nunca alcanzarán los rendimientos de las unidades construidas con los medios técnicos apropiados.

Un aspecto muy atractivo derivado de la constitución de la máquina y su forma de funcionamiento, consiste en que el follaje, hierbas, lodos, etc. que durante la entrada del agua se quedan entre los alabes, vuelven a ser expulsados después de medio giro del rodete con el agua de salida por el

efecto de la fuerza centrífuga. De este modo el rodete tiene un funcionamiento poco sensible a elementos no deseados, que es una de las ventajas que posee respecto a otras turbinas.

La forma de instalación puede adoptar dos disposiciones (ver figura 15)

Figura 15. Entradas de agua a turbina
Michell Banki



- 1 Entrada horizontal del agua,
- 2 Entrada vertical del agua.

Una de las posibles variaciones en la fabricación instalación consiste en el montaje de varios cuerpos de entrada de agua, de manera que se permita la alimentación a, por ejemplo, un tercio, dos tercios o tres tercios del rodete. Debido a la forma que tienen los alabes en el rodete no se van a producir esfuerzos axiales fuertes en el eje de los mismos, a pesar de estar trabajando de una forma descompensada.

Si observamos detenidamente la figura 14, se puede apreciar que la marca Ossberger divide en tres partes el rodete, por discos, sobre los que

van montados los alabes. Por otra parte, existen dos distribuidores. Con el pequeño se alimenta el primer cuerpo del rodete, produciendo 1/3 de la potencia nominal. Con el distribuidor mayor se pueden alimentar los últimos cuerpos llegando a generar 2/3 de potencia. Si ambos distribuidores se encuentran abiertos la producción de potencia es la tota.

Esto es muy interesante, pues permite mantener la curva de rendimiento plana a pesar de que puedan variar las condiciones de caudal.

El rendimiento medio de las turbinas Ossberger se garantiza para pequeñas potencias con un 80%. Para equipos artesanales llegamos hasta un 70% de eficiencia.

Siguiendo con la descripción de la construcción de la turbina, encontramos los cojinetes principales (4) de la turbina que están equipados con rodamientos normalizados de rodillos a rótula. Hay que tomar en cuenta que al diseñar estas turbinas debemos cuidar que los cojinetes no entren en contacto con el elemento hidráulico. Para esto hay que diseñar alojamientos prensa estopa que evitan las fugas de forma eficiente.

Excepto el cambio anual de grasa, los cojinetes no requieren casi ningún tipo de mantenimiento.

Las turbinas Michell Banki son de fácil construcción; el rodete, consta de un par de discos o mas, en los que se soldan los alabes, que tienen curvatura lineal, sin torsión. Tienen un rendimiento estable, el rango de caudales y alturas es amplio y permite llegar hasta 500kW, su robustez nos ayuda a que no afecte su funcionamiento si ingresan lodos, hierbas, u otros materiales que son expulsados fuera por la fuerza centrífuga.

La pala directriz móvil, tiene como misión regular la cantidad de agua de entrada, y con ello la velocidad de rotación.

3.2.2 Fórmulas a utilizar

Los diferentes saltos y diámetros del rotor son los responsables de la velocidad de funcionamiento final a que girará éste. Si se expresa la altura del salto H en metros y el diámetro exterior D del rotor en centímetros, la velocidad de rotación r.p.m. de la turbina viene dada por la siguiente expresión:

$$\text{r.p.m.} = (4300 \text{ H})/D$$

La potencia viene dada por:

$$P = \eta_{\text{turb}} \eta_{\text{transm}} \eta_{\text{generador}} \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Donde:

η_{turb} = eficiencia de la turbina, transmisión de potencia y generador respectivamente.

ρ = densidad del agua,

Q = caudal en litros / segundo, y

H = altura en metros.

La energía hidráulica se obtendrá de la expresión siguiente

$$E = gH$$

Donde:

g = gravedad con un valor de 9.81 m/s² y

H = salto neto.

Además podemos utilizar la ecuación siguiente:

$$gh = 1/(\rho' - \rho'') + \frac{1}{2}(c_1^2 - c_2^2) + g(z_1 - z_2)$$

la potencia hidráulica se puede calcular de la siguiente manera

$$P = \rho gQH$$

Donde:

p = potencia

ρ = densidad del agua, 1000 kg/m³

g = a la gravedad 9.81 m/s²

Q = caudal

H = salto neto

Para el vertedero triangular utilizaremos la ecuación

$$Q = 1.4 H^{2.5}$$

3.3 Descripción de equipo a utilizar

Para el desarrollo de este laboratorio utilizaremos una turbina Michell Banki de aproximadamente 6 pulgadas de diámetro motada en un banco de pruebas que cuenta con un acumulador o batería de 12 voltios y un alternador o generador eléctrico del tipo usado en automóviles que forman un circuito eléctrico para alimentar un panel que cuenta con dos focos incandescentes y un voltímetro, este banco de pruebas cuenta además con dos depósitos de agua uno mas grande que el otro, desde donde se hace circular agua por medio de un circuito hidráulico formado una bomba centrífuga, movida por un motor eléctrico de 5 hp, de corriente alterna y voltaje 220, y tubería pvc hacia la entrada de la turbina. Parte de este banco se muestra en las fotos siguientes.

Figura 16. **Componentes de banco de pruebas**



Figura 17. **Chorro y purga manómetro 1**



Figura 18. **Generador tipo alternador**

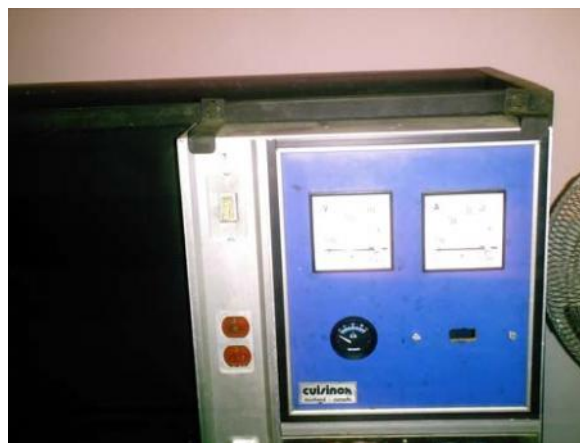


Figura 19. Componentes de turbina Michell Banki



En ellas podemos observar la pala motriz móvil y el alternador eléctrico de 12 voltios corriente directa.

Figura 20. Tablero de mediciones eléctricas de turbina Michell Banki



Además, podemos observar el panel de control el cual consta de luces que son abastecidas por un acumulador de 12 voltios, el que a su vez es recargado con la corriente que suministra el alternador movido por la turbina. Cuenta también con unos medidores de voltaje y amperaje los cuales muestran las cargas que suministra el alternador en funcionamiento, este se puede observar en la foto anterior.

3.4 Desarrollo del laboratorio

Figura 21. Puesta en marcha de equipo



Iniciamos llenando los depósitos de agua y luego hacemos funcionar el motor eléctrico de 5 hp corriente 220V, este moverá una bomba centrífuga la cual a su vez imprimirá un movimiento al agua que girará en el sistema de tanque-turbina.

Es de importancia resaltar que la llave de paso de agua en la tubería deberá estar cerrada antes de encender el motor, esto para evitar daños en la bomba. Luego debemos purgar el sistema con un chorro colocado antes de la llave de globo y que desfoga en los depósitos de agua. Una vez purgado procedemos a abrir la llave de paso y la ubicamos en la abertura máxima.

Para saber cuál es la posición máxima de la llave principal de paso debemos abrir toda la llave hasta el punto en que nuestro caudal de agua tiene una altura máxima en el vertedero triangular que se encuentra dentro del depósito, además debemos hacer un cambio en el interruptor que indica batería y alternador, posicionando primero en batería y cambiando luego a alternador esto nos dará una intensidad grande en las luces del tablero. Con esto podemos saber si estamos en el máximo caudal, si no con un tacómetro podemos medir las revoluciones por minuto en la polea que comunica la potencia al alternador, la cual deberá indicar 1300 rpm. Otra forma es ver en el tablero eléctrico en el voltímetro pequeño que nos de una lectura de 17 voltios.

Figura 22. Componentes de turbina Michell Banki



Figura 23. Banco de trabajo de turbina Michell Banki



Una vez alcanzado este nivel procedemos a cerrar la llave lentamente, dejando siempre el interruptor eléctrico en la posición alternador, hasta alcanzar el nivel más bajo en la intensidad de luces sin que éstas se apaguen, o a 450 rpm, o cuando en el voltímetro obtengamos una lectura de 0 voltios. A partir de este punto se debe tomar la primera lectura de caudal que circula en este momento.

Esto lo obtenemos tomando la medida de la altura del vertedero con un tubo de vidrio que sirve de piezómetro el cual cuenta con una escala en

centímetros en su costado derecho. Con esta altura se debe calcular el caudal teórico usando la ecuación para vertedero triangular que se describió en el capítulo anterior. Además debemos utilizar un recipiente fácil de medir para aforar manualmente el caudal que está circulando en este momento y luego comparar los dos resultados obtenidos y calcular el error que existe entre estos dos. Para cada caudal medido hay que apuntar las presiones de los tres manómetros los cuales servirán para estimar las alturas con las cuales estaría trabajando la turbina, a saber, la máxima presión sería la altura donde se encuentra el embalse, y la mínima la altura a la cuál se encontraría la turbina. Estas presiones hay que multiplicarlas por el factor 2.31 para obtener la altura en pies y luego dividir entre 3.28 para conocer la altura en metros, siempre y cuando las lecturas en los manómetros estén en psi.

Es bueno tomar también la lectura de las rpm en cada caudal con un odómetro. Las turbinas de este tipo utilizan una pala motriz o generador que es el encargado de posicionar el chorro de agua motriz en el rodete de la turbina para que ésta alcance su máxima eficiencia con un mínimo de caudal, en la turbina de prueba este dispositivo cuenta con una palanca de 4 posiciones con la cual podemos darle el ángulo que se desee para la prueba. Obtuvimos mejores resultados en la posición mas baja de la rueda dentada que posee este dispositivo. Este sistema cuenta también con unas pantallas de metal perforadas, que nos ayudan a convertir el flujo turbulento que sale de la turbina en flujo casi laminar, esto con el propósito de hacer las mediciones necesarias en el vertedero triangular. Es de resaltar que el nivel de agua en el depósito inferior que es el más grande debe estar al borde inferior del depósito superior, esto ayuda a que no entre aire en la bomba y así la misma funcionará eficientemente.

Figura 24. Ubicación de palanca posicionadora



3.5 Tabulación de datos

En ésta práctica tomamos la lectura de las diferentes variables, como lo son, alturas piezométricas, caudal teórico, revoluciones por minuto de la polea del distribuidor eléctrico, voltajes para luego utilizarlas en las formulas desarrolladas en capítulos anteriores.

Tabla XI. Presiones y alturas en banco de prueba Michell Banki

m1 psi	m2 psi	M3 psi	h1 metros	h2 metros	h3 metros
38	10	9.5	26.76	7.04	6.69
36	12	14	25.35	8.45	9.86
35	18	17	24.65	12.68	11.97
34	20	19	23.94	14.08	13.38

Donde:

m1 = lectura de manómetro 1 ubicada a la salida de la bomba

m2 = lectura de manómetro 2 ubicado en el adaptador de la turbina

m3 = lectura de manómetro 3 ubicado en la pala directriz o distribuidor.

Tabla XII. **Datos necesarios para cálculos**

H vertedero Metros	Q m ³ /min experimental	rpm	Q m ³ /min teórico	E hidráulica kj	error entre caudales
0.0858	0.2652	475	0.18108	262.5156	31.719457
0.093	0.3099	500	0.221557	248.6835	28.5069377
0.0957	0.3065	900	0.23795	241.8165	22.365416
0.0958	0.3284	1300	0.23812	234.8514	27.4908648

Donde H de vertedero es la altura del agua que esta pasando, desde el vértice hasta la cresta de la misma. Las rpm son las velocidades medidas en la polea que transmite la potencia hacia el generador eléctrico. Y E es la energía generada por agua y aprovechada por la turbina.

Tabla XIII. **Potencias y voltaje**

potencia kj/s	potencia hp	voltaje v
69.61914	93.32	9
77.06702	103.3	11
74.11676	99.35	15
77.1252	103.39	16

La potencia es la generada por la turbina esta en Kj/s, y en hp.
 donde:
 Kj = kilo joules N-m
 hp = horse power

3.6 Gráficas

Figura 25. **Revoluciones por minuto Vrs. caudales**

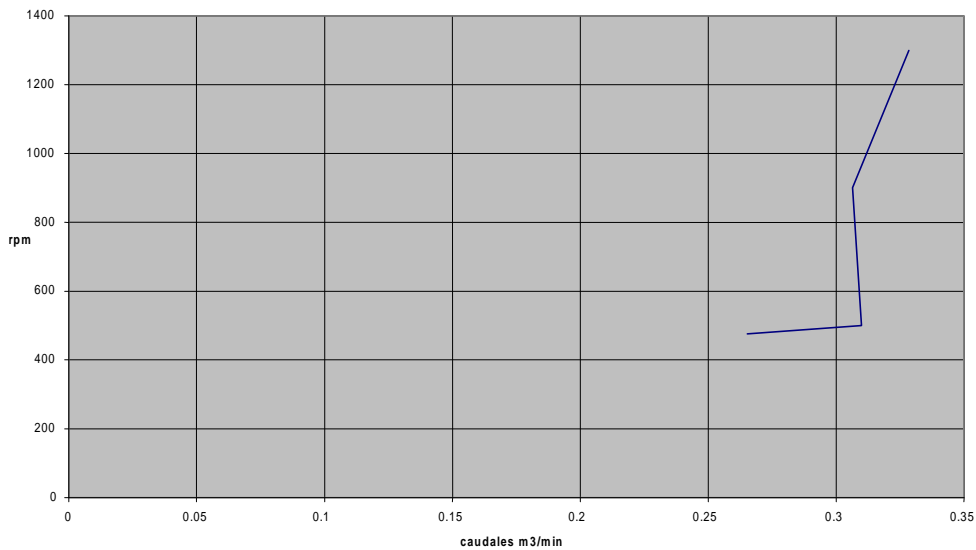


Figura 26. Revoluciones por minuto Vrs. potencia Kj/s

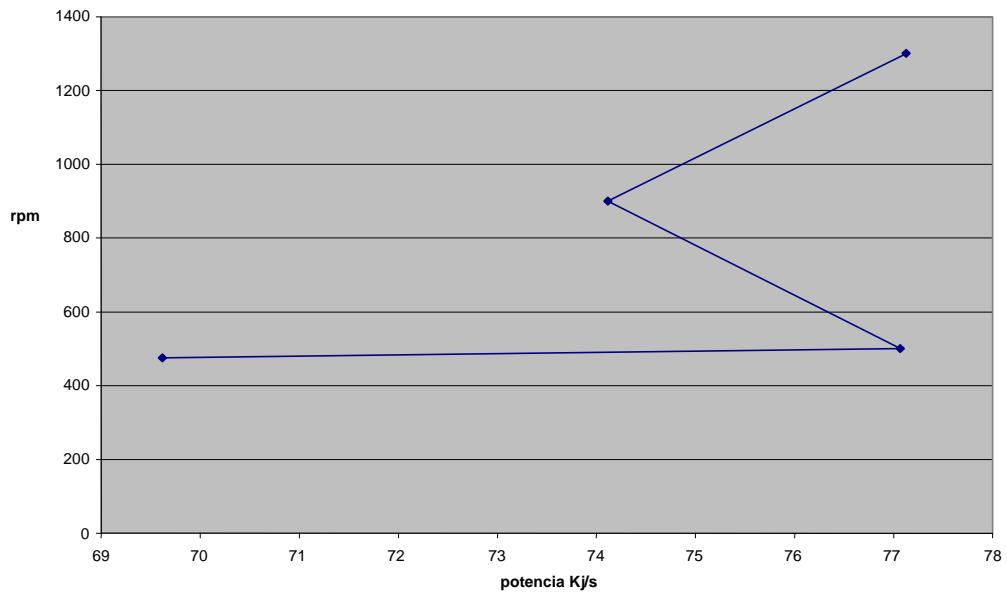
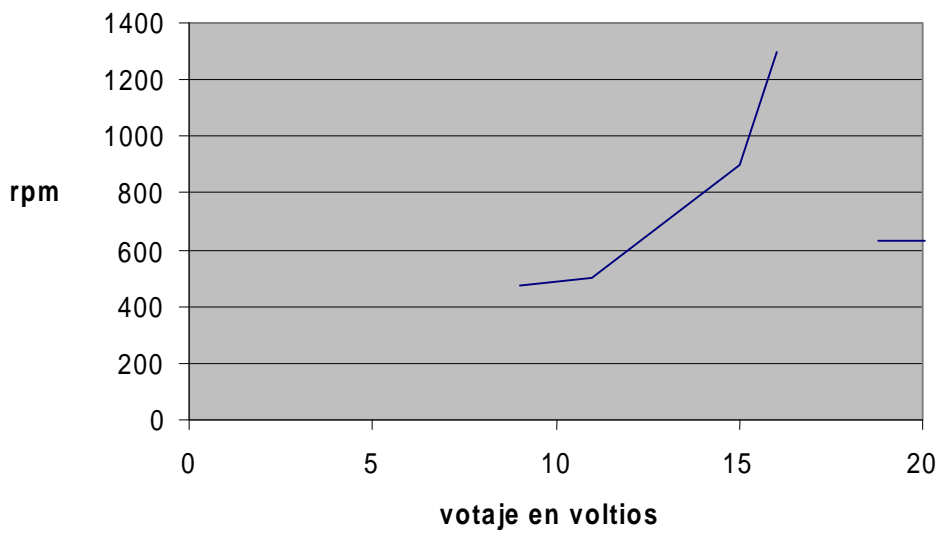


Figura 27. Revoluciones por minuto Vrs. voltaje



3.7 Conclusiones de capítulo III

1. Al aumentar el caudal se incrementan las revoluciones por minuto, que a la vez genera más corriente eléctrica aumentando el voltaje.
2. La turbina si se encuentra en los límites teóricos de trabajo, a saber, entre los 50 y 2000 rpm teóricos, así como los caudales son relativamente bajos para su operación lo que hace a este tipo de turbina bastante eficiente.
3. Es necesario resaltar que con la ubicación del regulador o pala motriz móvil, se puede mejorar la eficiencia de la turbina aumentando o disminuyendo las rpm sin alterar el caudal y que en un punto donde la distancia entre la pala y los álabes de la turbina es relativamente grande, esta detiene su movimiento, dejando pasar el caudal sin que haya un trabajo efectivo del mismo.

3.8 Recomendaciones capítulo III

1. Debemos hacer un mantenimiento anticorrosivo en los depósitos de agua al menos una vez cada seis meses ya que por el continuo uso y el estancamiento de agua por largo tiempo hace que los depósitos que son de metal se corroan y dañen, así como también hay que revisar los niveles de ácido del acumulador para que este no se quede seco y se descomponga.
2. Es muy importante recomendar que antes de encender o apagar el motor eléctrico verifiquemos que la llave de control de paso de agua se encuentre totalmente cerrada para evitar dañar la bomba, así como después de un largo período de descanso verificar la limpieza de los depósitos para que no contengan basura que pueda entrar en circulación con el agua y dañar la bomba hidráulica.
3. Se debe también observar que la altura del agua del depósito inferior que es el mayor este totalmente lleno cuando ya este funcionando la bomba, para evitar remolinos que causan entrada de aire a la bomba, ya que esto provocaría no solo un flujo no constante en la turbina haciendo que la misma opere de forma deficiente, y daños a los cojinetes y empaquetaduras de la bomba, ya que al operar sin agua estos no se lubrican y calientan en exceso causándose el daño.

4. LABORATORIO No. 4

LA BOMBA CENTRÍFUGA HORIZONTAL

4.1 Objetivos del laboratorio

General

Desarrollar la habilidad de reconocer las partes y funcionamiento de una bomba centrífuga horizontal, ya que existen una variada cantidad de bombas hidráulicas en funcionamiento.

Específicos

1. Reconocer las diferentes partes que componen una bomba centrífuga horizontal.
2. Adquirir la habilidad de identificar las diferentes partes de la bomba centrífuga tales como, prensa estopa, los impulsores o impulsor, los cojinetes, la carcasa, etc.
3. Identificar hacia donde gira el impulsor en comparación con la entrada de agua que ingresa a la bomba.
4. Saber como se pone en funcionamiento una bomba sin peligro de dañarla.

4.2 Marco teórico

4.2.1 Definición de bomba hidráulica

Equipo de bombeo, transformador de energía. Recibe energía mecánica, que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc., y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad.

4.2.2 Bomba centrífuga

Las bombas centrífugas se clasifican de la siguiente manera: Son bombas roto dinámicas, que se pueden dividir en bombas de flujo radial, flujo mixto y flujo axial. Pueden ser de simple y doble succión. Las de flujo radial y simple succión pueden ser auto cebadas o cebadas por medio externo. Las de flujo mixto de doble succión se subdividen en unipares y multipares con impulsores abiertos, semiabiertos y cerrados.

Una bomba centrífuga consiste de un juego de alabes rotatorios dentro de un alojamiento o carcasa, que se utilizan para impartir energía a un fluido por medio de la fuerza centrífuga. Libre de todo refinamiento una bomba centrífuga consiste en dos partes principales:

- Un elemento rotatorio, que incluye un impulsor y un eje,
- Un elemento estacionario formado por una carcasa, un alojamiento para empaque (estopa) y rodamientos.

En una bomba centrífuga el líquido se fuerza a entrar en un juego de alabes rotatorios mediante la presión atmosférica o cualquier otra presión,

estos alabes constituyen un impulsor que descarga el líquido en su periferia a más alta velocidad. Esta velocidad se convierte en energía de presión por medio de una voluta (figura 21) o mediante un juego de alabes estacionarios de difusión rodeando la periferia del impulsor.

Figura 28. **Impulsores, cojinetes y estopas de bomba centrífuga**



Los impulsores se clasifican de acuerdo con la mayor dirección de flujo con respecto al eje de rotación. Así las bombas pueden tener:

- Impulsores de flujo radial
- Impulsores de flujo axial
- Impulsores de flujo mixto.

Además se clasifican también en:

- De succión simple
- De succión doble.

La construcción mecánica de los impulsores genera aún una subdivisión más:

- abiertos, sin paredes de refuerzo
- semiabiertos o semicerrados

Si la bomba es tal que la carga se origina con un solo impulsor, se llama bomba de *un solo paso*. Con frecuencia, la carga total por desarrollarse requiere el uso de dos o más impulsores operando en serie, cada uno haciendo la succión de la descarga del impulsor precedente. Para éste propósito pueden conectarse dos o más bombas de un solo paso en serie o bien todos los impulsores pueden incorporarse en una sola carcasa. La unidad recibe el nombre de *bomba de pasos múltiple*.

El diseño mecánico de la carcasa proporciona, además, la clasificación de las bombas en axialmente y radialmente partidas, mientras que el eje de rotación determina si es unidad horizontal o vertical. Las bombas centrífugas de flecha horizontal se clasifican aún de acuerdo con la localización de la tobera de succión así:

- al extremo
- lateral
- al fondo
- superior.

Algunas bombas operan en el aire en las que el líquido viene y es enviado por la misma, a través de tuberías. Otras del tipo vertical se encuentran sumergidas en su propio líquido de abastecimiento. Por esta razón las bombas de flecha vertical se llaman de *pozo húmedo* o de *pozo seco*. Si las bombas de pozo húmedo son de flujo axial, de flujo mixto o de turbina vertical el líquido se

descarga por arriba a través de la caída de apoyo o tubería de columna en un punto arriba o abajo de piso de soporte. Estas bombas se denominan, por lo anterior, de descarga sobre el piso o de descarga abajo del piso.

Figura 29. **Vista lateral de bomba centrífuga**



4.2.2.1 Rotación de las bombas centrífugas

Debido a que la localización de las boquillas de succión y descarga se afectan con la rotación de las bombas, es muy importante comprender los medios que se utilizan para definir la rotación. De acuerdo con las normas del Instituto Hidráulico de Estados Unidos, la rotación se define como en sentido de las manecillas de reloj o en sentido contrario, viendo hacia el extremo conducido de la bomba horizontal o viendo hacia abajo en una bomba vertical, aunque algunos fabricantes aún designan la rotación de una bomba horizontal a partir de su extremo exterior.

El término interior determina el extremo más próximo al motor y el término exterior, al extremo más alejado; estos términos se usan solo para bombas horizontales.

4.2.2.2 Comportamiento de la bomba centrífuga

Las características más importantes de operación son la capacidad **Q**, la carga **H**, la potencia **P**, y la eficiencia . Las variables que influyen sobre éstas son la velocidad **n** y el diámetro **D** del impulsor.

La velocidad específica **n_s** es un parámetro que clasifica los impulsores de acuerdo con la geometría y las características de operación.

El valor en condiciones de operación que corresponde a la mejor eficiencia se llama velocidad específica del impulsor y generalmente es un valor de interés.

4.2.2.2.1 Capacidad (Q)

Es el volumen de fluido por unidad de tiempo entregado por la bomba, en sistema ingles se expresa en galones por minuto (GPM) o para bombas muy grandes en pies por minuto. En el sistema métrico las unidades son litros por segundo o m/seg.

Si la capacidad se mide en un lugar **x** en donde el peso específico del fluido **x** es diferente al peso específico en la brida de entrada **s** entonces

$$Q = Q_x (\gamma_x / \gamma_s)$$

4.2.2.2.2 Carga (H)

Representa el trabajo neto realizado por una unidad de peso de un fluido pasando por la brida de entrada o succión, s, a la brida de descarga, d; está dada por:

$$H = (P/ + V^2/2g + Z)d - (P/ + V^2/2g + Z)s$$

El término $P/$ es llamado carga de presión o trabajo de flujo, representa el trabajo necesario para mover la unidad de peso de un fluido a través de un plano arbitrario perpendicular al vector velocidad V contra la presión P . El término $V^2/2g$ llamado carga de velocidad representa la energía cinética de la unidad de peso de un fluido moviéndose con velocidad V . El término Z llamado carga de elevación o carga potencial, representa la energía potencial de la unidad de peso del fluido con respecto a la referencia escogida. El primer término de la ecuación representa la carga de descarga h_d y el segundo la carga de entrada o succión h_s . La diferencia tiene diversos nombres: la carga de la bomba, la carga total de la bomba o la carga dinámica total.

4.2.2.2.3 Potencia

La energía de salida de las bombas se da generalmente como potencia líquida o potencia al agua, si el líquido bombeado es agua. En medidas inglesas, la potencia de salida, l_{hp} , en caballos de potencia está dada por:

$$L_{hp} = (Q * S * H) / 3960$$

Donde:

Q = galones por minuto GPM,

S = es la densidad relativa adimensional y

H = altura en pies.

Si la carga esta dada en pies/seg

$$Lhp=(Q*S*H)/8.82$$

En medidas métricas es:

$$Lhp=(Q*S*H)/75 \text{ o } Lhp=(Q*S*H)/0.075$$

4.2.2.2.4 Eficiencia

La eficiencia de la bomba es la potencia líquida dividida entre la energía de entrada en el eje de la misma. La última se llama generalmente potencia al freno (pf).

Llamamos carga neta positiva de succión, a las condiciones mínimas de succión que se requieren para evitar la cavitación en la bomba.

4.3 Descripción de equipo a utilizar

En ésta práctica utilizaremos una bomba centrífuga horizontal que esta desarmada y se encuentra a la entrada del laboratorio de hidráulica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, la cual podemos observar en la fotografía.

Figura 30. Vista lateral de bomba centrífuga



4.4 Desarrollo del laboratorio

En esta práctica se conocerán los diferentes componentes de una bomba centrífuga y es solamente de inspección y observación, aquí podemos ver cada uno de los componentes de la bomba y ver hacia donde giran los impulsores.

4.5 Tabulación de datos obtenidos

Aquí no tenemos datos para tabular, ya que es sólo una práctica de reconocimiento y aprendizaje de las partes componentes de la bomba.

CONCLUSIONES

1. Se puede afirmar que el manual para el laboratorio de máquinas hidráulicas es eficiente, y es una herramienta de ayuda para hacer funcionar la maquinaria y aplicar los conocimientos adquiridos teóricamente.
2. Se puede comentar y así resolver dudas que surgen cuando se ven funcionando los aparatos.
3. Además, se comprobó la efectividad de las diferentes máquinas, en prácticas de laboratorio realizadas simultáneamente a la realización de éste manual, sin utilizar las máquinas en escala real, ya que con diseños apegados a la semejanza hidráulica se pueden obtener máquinas que funcionan en similitud con los originales, por ejemplo como vemos en las figuras 30, 31 y 32 en anexos, de una turbina Michell Banki tamaño real en comparación con la que sirve de prueba, se nota que es más fácil manipular y experimentar, en la que sirve de prueba, y poder desarrollar cualquier cálculo o diseño que en lo real.
4. Se puede afirmar, que para generar electricidad, o elevar agua hasta alturas deseadas, no necesariamente debemos utilizar maquinaria que utilice materiales fósiles contaminantes como proveedores de energía, y que con el agua bien aplicada se pueden generar las cantidades de energía deseable, sin contaminar la misma, tal vez, en algún momento de falla podemos ocasionar alguna contaminación debido a empaques

dañados que permitan la filtración de lubricante al agua o por partículas metálicas por desgaste de los alabes o cavitación.

5. El laboratorio en sí es ventajoso, porque permite experimentar y analizar los fenómenos que pueden ocurrir en las máquinas reales, proporcionando a la persona que así lo desee una forma fácil de poner en práctica lo aprendido teóricamente.

RECOMENDACIONES

1. El usuario(a) debe estar familiarizado(a) con los términos utilizados, así como haber llevado mecánica de fluidos, ya que hay una variedad de temas que se supone ya dominados por los usuarios. Se ha tratado de explicar lo mejor posible cada laboratorio para su mejor comprensión, pero no se puede bajar mucho el nivel académico porque entonces perdería su razón.
2. Se puede utilizar de manera indistinta cada capítulo, y no es necesario llevar un orden, pero se recomienda por la ubicación de los diferentes aparatos utilizados, programar los laboratorios de Bomba de Ariete Hidráulico y Turbina Pelton para sesiones seguidas en el Parque Tecnológico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, pues se puede atender dos grupos a la vez. Para la turbina Michell Banki y la bomba centrífuga se recomienda programar el desarrollo de los mismos en una misma sesión en el Laboratorio de Hidráulica de la misma Facultad.
3. Ahora para el equipo utilizado, algunas de las recomendaciones fueron transmitidas al Ing. José Ismael Véliz, responsable del curso de Máquinas Hidráulicas, y con la ayuda de los compañeros que cursaron el curso en el 2do semestre del 2006, fueron realizadas algunas mejoras y reparadas algunas partes de los diferentes aparatos para que funcionaran de mejor manera, a saber, las mangueras plásticas que bajaban del depósito de agua hacia la turbina pelton fueron cambiadas por tubería pvc de 2 pulgadas y 1 ½ pulgadas de diámetro, dejando

únicamente una parte de manguera flexible para conectar esta tubería con la turbina, ya que la misma puede ser posicionada y tres alturas diferentes. Otras mejoras hechas fue hacer canales de captación del agua utilizada y llevarla a un depósito subterráneo.

4. Colocar una bomba hidráulica para subir el agua recuperada, nuevamente al depósito principal y así no desperdiciar la misma.
5. Con la turbina Michell Banki se deben pintar al menos cada 6 meses los depósitos para evitar corrosión y deterioro de los mismos.
6. Verificar que los circuitos tanto eléctricos como hidráulicos estén siempre en buen estado para poder realizar los cálculos.

BIBLIOGRAFÍA

1. De Azevedo Neto, J.M., Manual de Hidráulica. 6ª. Edición, Mexico, Harla, 1975.
2. De Parres, José L. Máquinas Hidráulicas. 3ª. Edición, México, Magazine, 1961.
3. Rosales Gómez, Víctor, Análisis y construcción de un Ariete Hidráulico de tubería y accesorios de hierro galvanizado, Guatemala. (Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería). Tesis Ingeniero Civil. 1993.
4. <http://www.aesbol,freeyellow.com/información%20arietes%20ba%202006.pdf>. Septiembre de 2006.
5. www.terra.org/html/s/sol/ingenio/aparatos/ariete_super.pdf. Septiembre de 2006.
6. Álvarez Pop, Ruslan Oliver; Pérez Sánchez, Javier Armando, Guía de instalación, mantenimiento y práctica para el módulo de generación eléctrica por medio de turbina del parque tecnológico USAC.” Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala.
7. Mataix, Claudio, Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, 2a. Edición SL, Harla, S.A.

8. Franzini, Joseph B., y Finnemore, E. John. **Mecánica de Fluidos con aplicación en Ingeniería**", 9a. Edición. México. Mc. Graw Hill.
9. <http://www.ossberger.de/index.php?sprache=es&pageid=1-3>.
Septiembre de 2006.
10. <http://cipres.cec.uchile/~jfoguero/banki.html>. Septiembre de 2006.
11. www.ossberger.de. Septiembre de 2006.
12. Karassik, Igor Manual de bombas, diseño, aplicación, especificaciones, operación y mantenimiento. México. McGraw Hill, 1,983 capítulos 1 y 2.
13. Viejo Zibicaray, Manuel. Bombas, teoría, diseño y aplicaciones, Noriega Editores, México.

ANEXOS

Semejanza hidráulica

Los constructores de máquinas hidráulicas que desarrollan nuevos tipos disponen de laboratorios de ensayo de modelos. Estos costos son absorbidos por los costos de construcción de una turbina o motor de gran potencia.

En los ensayos de máquinas hidráulicas la fuerza preponderante es la viscosidad. Por tanto, el prototipo y el modelo además de ser geoméricamente semejantes, deberán ensayarse a igual número de *Reynolds* para conservar la semejanza dinámica. En la práctica esto si no resulta casi imposible si es demasiado costoso. Es por ello que según la práctica universal, *en los ensayos de máquinas hidráulicas se hace la hipótesis de que la semejanza geométrica implica la semejanza mecánica.*

Esto equivale a suponer que la viscosidad no entra en juego y por tanto que los rendimientos del modelo y el prototipo son iguales. La hipótesis anterior a conducido a excelentes resultados, excepto en lo que respecta a predicción de rendimientos. Lo más probable es que el modelo sea más eficiente que el prototipo.

Como las leyes que rigen la experimentación con modelos están basadas en la semejanza geométrica, se llaman *leyes de semejanza.*

Estas leyes sirven para predecir el comportamiento de una máquina de distinto tamaño; pero geoméricamente semejante a otra cuyo comportamiento

(caudal, potencia, etc.) se conoce, trabajando en las mismas condiciones (sobre todo en condiciones de óptimo rendimiento).

Sirven también para predecir el comportamiento de una misma máquina (la igualdad es un caso particular de la semejanza), cuando varía alguna de sus características, por ejemplo en una bomba para predecir cómo varía la altura efectiva cuando varía el número de revoluciones. O en una turbina cómo varía el caudal cuando varía la altura neta.

LAS SEIS LEYES DE SEMEJANZA PARA BOMBAS HIDRÁULICAS

Las tres primeras leyes se refieren a la misma bomba es decir $D' = D''$, pero funcionando en condiciones distintas.

- *primera ley*: los caudales son directamente proporcionales a los números de revoluciones. es decir

$$Q'/Q'' = n'/n''$$

Donde:

Q = caudal en función de la velocidad y el área.

Además cualquier velocidad será proporcional a n. Así la velocidad u estará definida por

$$u = (Dn)/60$$

- *segunda ley*: Las alturas útiles son directamente proporcionales a los cuadrados de los números de revoluciones, es decir

$$H'/H'' = (n'/n'')^2$$

- *tercera ley*: Las potencias útiles son directamente proporcionales a los cubos de los números de revoluciones, es decir

$$P'/P'' = (n'/n'')^3$$

Las siguientes tres leyes se refieren a dos bombas geoméricamente semejantes pero de diámetros distintos (D' D''), y expresan la variación de las características de dos bombas geoméricamente semejantes con el tamaño, si se mantiene constante el número de revoluciones.

- *Cuarta ley:* los caudales son directamente proporcionales al cubo de la relación de diámetros, así

$$Q'/Q'' = (D'/D'')^3$$

- *Quinta ley:* Las alturas útiles son directamente proporcionales al cuadrado de la relación de diámetros, así

$$H'/H'' = (D'/D'')^2$$

- *sexta ley:* Las potencias útiles son directamente proporcionales a la quinta potencia de la relación de diámetros, así

$$P'/P'' = (D'/D'')^5$$

Una fórmula importante de semejanza es:

Número específico de revoluciones

$$n_s = n (\sqrt{P})/H^{5/4}$$

Donde n está en rpm, la potencia en CV y H en metros.

Como $P = Q\rho gH$ [w] entonces $P = Q\rho H/75$ [CV].

En función del caudal queda así y utilizando agua como medio de trabajo:

$$n_s = (3.65\sqrt{Q})/ H^{3/4}$$

Las seis leyes para turbinas son:

Cuando los diámetros son iguales:

$$n'/n'' = \sqrt{H'/H''} = Q'/Q''$$

$$P'/P'' = (\sqrt{H'/H''})^3$$

Cuando los diámetros son diferentes

$$n'/n'' = D''/D'$$

$$Q'/Q'' = (D'/D'')^2$$

$$P'/P'' = (D'/D'')^2$$

El número específico de revoluciones está dado por la ecuación

$$n_s = 3.65 n(\sqrt{\eta_{tot}})(\sqrt{Q})H^{-3/4}$$

Figura 31. Turbina Ossberger o Michell Banki real



Figura 32. Turbina Ossberger o Michell Banki real



Figura 33. Rodete de turbina Michell Banki real

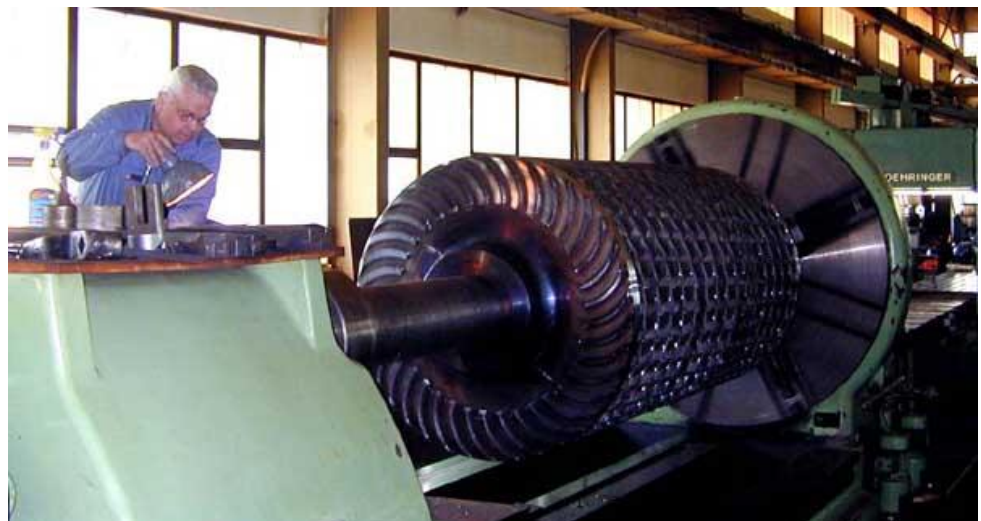


Figura 34 Rodete y alabes de turbina pelton.
wikipedia®



