

## Guía Corta Laboratorio 5 Turbomáquinas

### Conceptos Importantes

- Una turbina permite convertir energía cinética de un flujo a energía mecánica de un eje, que finalmente se convierte en energía eléctrica a través de un generador.
- El fluido de trabajo puede ser aire, agua y una infinidad de otros, pero estos son los más comunes.
- Existen distintos tipos de turbinas siendo las principales turbinas a gas y turbinas hidráulicas.
- Dentro de las turbinas hidráulicas se encuentran las turbinas Pelton, que corresponden a la usada en esta experiencia, que se utiliza generalmente en altas caídas de agua, con poco o bajo caudal. Esto es usual en plantas hidroeléctricas de gran envergadura.
- La turbina Pelton consiste en un rotor de  $N$  paletas o cucharas que reciben uno o varios chorros de agua directamente en su centro (de las paletas). En este caso es un único chorro que apunta verticalmente hacia abajo. Para mayor número de chorros el rotor se ubica horizontalmente sobre un plano.
- El chorro se direcciona de tal modo que llega íntegro en una pequeña zona circular al centro de las paletas y genera un impulso angular sobre el rotor al momento de que el chorro cambie su dirección.
- Las paletas poseen un tabique ubicado radialmente que separa el flujo del chorro en dos direcciones opuestas de modo que el cambio de momentum del chorro no genere un impulso axial sobre el rotor.
- Además, la paleta posee un sacado en el borde más alejado del centro del rotor, que permite que el chorro golpee adecuadamente las paletas en su zona cóncava y no golpee la parte convexa de esta, esto último generaría un torque contrario al deseado.
- El impulso angular que ejerce el chorro sobre las paletas permite que el rotor gire a altas velocidades, lo que a su vez permite que el eje gire a alta velocidad.
- El movimiento rotatorio del eje se traduce en energía eléctrica a través de un generador que básicamente usa inducción magnética para generar corriente a través de una bobina.
- Las turbinas se diseñan para trabajar en un acotado rango de operación de forma óptima, donde los parámetros más relevantes son la eficiencia, potencia, torque y velocidad de giro en RPM.

### Descripción del Equipo

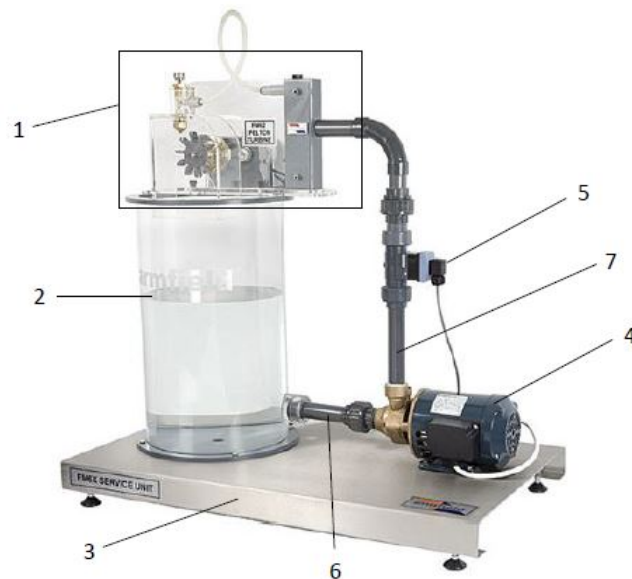
1. **Turbina Pelton:** Recibe el flujo de agua desde la bomba y la evacúa al depósito de agua. Posee dos válvulas de flujo, un freno, un eje y el rotor con las paletas.
2. **Depósito:** Estanque de agua de 28 litros de capacidad que permite visualizar igualmente cómo se evacúa el agua de la turbina.
3. **Base:** Base de acero inoxidable que soporta

todo el equipo, tiene patas con goma anti-deslizante para mantenerlo en su lugar.

4. **Bomba:** Bomba trifásica que moviliza el agua del depósito, posee además sensores electrónicos que envían información al software del equipo.
5. **Flujómetro:** Flujómetro electrónico co-

nectado a la tubería de salida de la bomba que permite medir y enviar datos al software en conjunto con la bomba.

6. **Entrada de agua:** Cañería plástica que conecta al depósito con la bomba.
7. **Salida de agua:** Cañería plástica que conecta la bomba con la turbina.



**Figura 1:** Turbina FM306 X Pelton. Vista general.

1. **Rotor:** Posee 10 paletas o cucharas rectangulares con tabique de separación del flujo.
2. **Boquilla:** Boquilla metálica que lanza el flujo a alta velocidad directamente a las paletas del rotor.
3. **Entrada de agua:** Cañería plástica que permite el ingreso de agua proveniente de la bomba.
4. **Sensor de presión:** Sensor que mide la

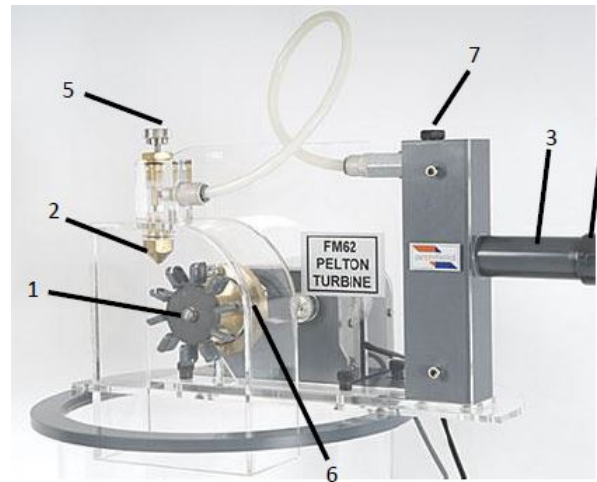
presión a la entrada de la turbina, no necesariamente la misma de la bomba (interna).

5. **Válvula de aguja:** Permite disminuir el caudal sin cambiar la velocidad del flujo.
6. **Eje y freno:** Eje que soporta el rotor el cual en su base está conectado a un freno magnético regulable.
7. **Válvula de control:** Disminuye el caudal y pero también la velocidad del flujo cambiando la sección de paso a través de esta.

1. **Nuevo:** Genera nuevo archivo de medidas.
2. **Abrir:** Abre archivo desde el explorador.
3. **Guardar:** Permite guardar los datos me-

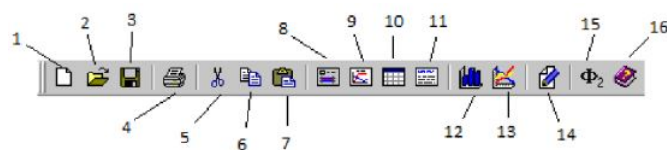
didados como plantilla Excel.

4. **Imprimir:** Imprime la tabla de datos en un formato a escoger.

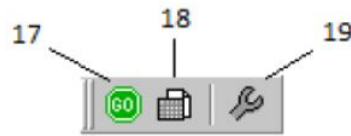


**Figura 2:** Turbina FM306 X Pelton. Detalle de turbina.

- |  |  |
|--|--|
| 5. <b>Cortar:</b> Eliminar y copia la selección.   | 13. <b>Historial:</b> Muestra historial IFD de forma gráfica.  |
| 6. <b>Copiar:</b> Copia la selección.  | 14. <b>Procesador de Texto:</b> Permite abrir procesador de texto como Word.   |
| 7. <b>Pegar:</b> Pega la selección en lugar escogido.  | 15. <b>Nomenclatura:</b> Da información sobre la nomenclatura usada por la interfaz gráfica.                           |
| 8. <b>Mostrar diagrama:</b> Muestra la visualización de los datos generales y selección de parámetros.   | 16. <b>Ayuda:</b> Permite encontrar información más detallada sobre cada una de las opciones del software.             |
| 9. <b>Mostrar gráficos:</b> Muestra gráfico de todos los datos medidos.                                  | 17. <b>Comenzar/Parar:</b> Botón que permite comenzar a tomar datos agregándolos a la tabla, o parar la toma de datos. |
| 10. <b>Mostrar tabla:</b> Muestra distintas tablas con los datos medidos y se actualiza automáticamente. | 18. <b>Nueva tabla:</b> Permite guardar datos en una nueva hoja de datos en la tabla.                                  |
| 11. <b>Mostrar ayuda:</b> Muestra información sobre la interfaz y su uso.                                | 19. <b>Configuración:</b> Se puede modificar la toma de datos y el modo de muestreo de estos.                          |
| 12. <b>Canales IFD:</b> Muestra canales IFD activos entre la interfaz IFD7 y el software.                |  |



**Figura 3:** Interfaz gráfica software, botones (1).

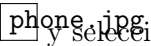


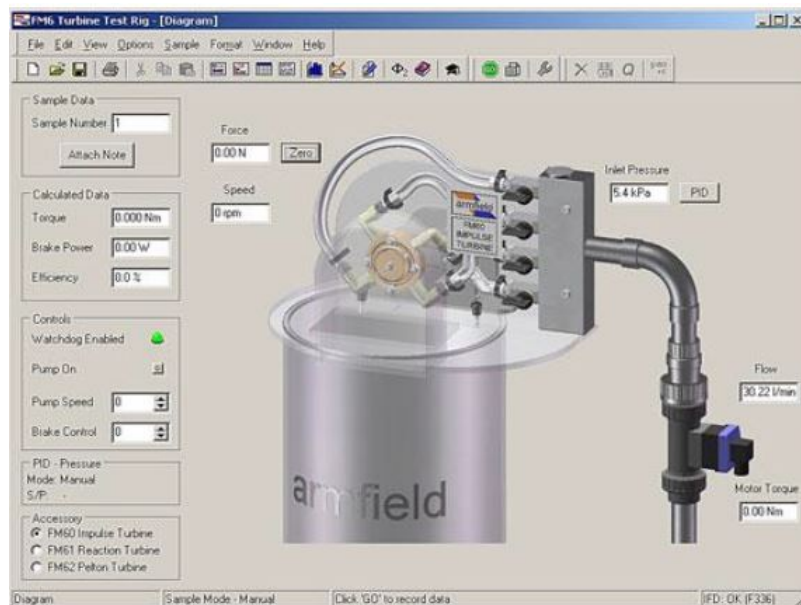
**Figura 4:** Interfaz gráfica software, botones (2).



**Figura 5:** Interfaz IFD7.

## Procedimiento Experimental

- Verifique que la interfaz IFD7 se encuentre enchufada a la red, luego enciéndala usando el interruptor en su cara de al frente (botón rojo) y el automático en la parte trasera (azul).
- Conecte el cable USB desde la interfaz al computador (extremo superior izquierdo)(debería encenderse una luz roja y otra verde).
- Encienda el computador e inicie sesión en Alumno. Una vez en escritorio, haga click sobre el ícono de FM6X 306 Turbines y debería aparecerle una ventana como la siguiente:
- Verifique si en el extremo inferior derecho dice 'IFD:vCOM(3)m' o 'No device'. Si dice lo segundo presionar el botón  y seleccionar la opción vCOM(3)m.
- Si no aparece esa opción el procedimiento es el siguiente: cierre el programa, saque el USB, coloque el USB, inicie el programa, intente de nuevo. (Sí, esta es única forma que hemos encontrado de solucionar este problema...) Repita hasta que aparezca la opción necesaria.
- Presione en el extremo izquierdo inferior la opción de Pelton Turbine, luego presione el botón que aparece junto a Pump On (extremo izquierdo, centro).
- Luego, Watchdog Enabled debe estar en verde. Si es así, coloque un valor de 40 o 60 en Pump Speed, si la turbina funciona entonces está todo en orden.
- **Toma de Medidas Experimentales**
- Para comenzar con la experiencia seleccione un valor de 40 para Pump Speed (40 se refiere a 40 % de las RPM máximas que puede alcanzar la bomba) y 0 para Brake Control. Luego



**Figura 6:** Ventana de software FM6X 306 Turbine

presione el botón Zero de modo que el programa muestre que la fuerza en el eje sea nula, debe serlo dado que el freno magnético no está realizando fuerza alguna y se asume que el roce no es importante para la experiencia, ya que se quiere estudiar el efecto del freno solamente.

- En la pestaña Sample seleccione Configure y coloque las opciones Automatic, 1 second interval y Continuous, así cada vez que usted le indique al programa que tome datos lo hará cada 1 segundo hasta que usted lo detenga.
- Presione el botón GO y deténgalo cuando el Sample Number sea 11 (esto implica que usted ha tomado 10 datos).
- Ahora cambie el valor de Brake Control a 5 y tome nuevamente 10 datos.
- Repita el paso anterior hasta que el rotor se detenga.
- Guarde la plantilla Excel en formato Excel 5.0 file. Borre los datos de la tabla de datos (no del Excel, del software).
- Ahora seleccione un valor de 60 para Pump Speed y realice los mismos pasos: partir de 0, tomar 10 datos, subir de 5 en 5, tomando 10 datos en cada valor de Brake Control hasta que se detenga. El porcentaje de Brake Control indica cuánta fuerza está haciendo el freno en porcentaje del máximo de fuerza que puede aplicar.
- Realice lo mismo ahora para un valor de 80 en Pump Speed.
- Baje el valor de Pump Speed y Brake Control a 0, cierre el software, desconecte el USB y apague el controlador de datos (botón rojo y azul).
- Recuerde ir guardando los datos y luego puede enviarla por mail (si es que tiene internet el computador) o guardarla en un pendrive (conviene que lleven uno por si fuera necesario).

■ **Resultados buscados**

- Grafique el torque  $T$ , potencia  $Pb$  y eficiencia  $E$  para cada nivel de caudal (40 %, 60 % y 80 %), respecto a la velocidad de giro del eje  $N$  (RPM). Debe tomar el promedio de las 10 medidas tomadas para cada nivel de freno.
- Promedie los 10 datos tomados para cada nivel de freno (para cada nivel de caudal) en particular use el torque  $T$ , la velocidad de giro  $N$  y la potencia de entrada  $Ph$ . Calcule además la desviación estándar de cada uno de estos promedios, la cual será el error asociado a la medida.
- Usando los promedios calcule usando estos tres parámetros ( $T$ ,  $N$  y  $Ph$ ) la eficiencia aplicando propagación de errores (los de Sistemas Newtonianos). Compare la eficiencia encontrada con su error asociado, para distintos niveles de freno y diferentes niveles de caudal.