

## IMEC2001 Taller Semana 7: Incertidumbre

### 1. Tener en cuenta

- La entrega del taller es vía Bloque Neón. Únicamente se debe enviar el archivo Excel con la solución.
- El nombre del archivo de Excel debe ser **T7\_Apellidos.xlsx**. Por ejemplo: T7\_VargasTorres\_SalazarPeña.xlsx.
- La fecha límite de entrega en Bloque Neón es: **23:59h de Mayo 28, 2023**.
- Si el taller es en parejas, solo lo envía una persona.

### 2. Introducción

Una turbina Pelton consiste en una rueda dotada de cangilones capaces de aprovechar la energía de un chorro de agua incidente, el cual, al inducir una fuerza sobre el cangilón, le permite a la turbina generar un torque y rotar a cierta velocidad angular. Esta energía mecánica en el eje de rotación es convertida en energía eléctrica por un generador.



**Figura 1.** Turbina Pelton.

### 3. Marco Teórico

El funcionamiento de una turbina Pelton puede pensarse como la operación inversa de una bomba centrífuga. Es decir, partimos de la energía disponible en un fluido (energía hidráulica) para hacer girar un eje (energía mecánica) que, finalmente, genera energía eléctrica al estar acoplado a un generador.

La potencia hidráulica  $P_w$  disponible para la turbina se estima mediante la Ecuación 1, en donde  $\rho$  es la densidad del fluido,  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $Q$  el caudal y  $H$  la altura manométrica (también conocida como cabeza de presión).

$$P_w = \rho g Q H \quad (\text{Ec. 1})$$

Por otra parte, la potencia mecánica  $P_f$  relacionada con la rotación del eje se estima mediante la Ecuación 2, en donde  $\omega$  es la velocidad de rotación del eje y  $T$  es el torque en el mismo.

$$P_f = \omega T \quad (\text{Ec. 2})$$

Finalmente, la eficiencia de la turbina Pelton se calcula con la Ecuación 3 (note que la ecuación es inversa a la eficiencia de las bombas centrífugas).

$$\eta = \frac{P_f}{P_w} = \frac{\omega T}{\rho g Q H} \quad (\text{Ec. 3})$$

#### 4. Descripción del Taller

El funcionamiento de una turbina Pelton puede pensarse como la operación inversa de una bomba centrífuga. Es decir, partimos de la energía disponible en un fluido (energía hidráulica para hacer girar un eje (energía mecánica) que, finalmente, genera energía eléctrica al estar acoplado a un generador.

Durante la práctica de laboratorio se dispusieron cinco puntos diferentes de operación. Para cada punto de operación, se realizaron tres mediciones de velocidad angular (**instrumento digital con resolución de 0.0105 rad/s**) y una medición de fuerza en dos dinamómetros (**instrumento análogo con resolución de 0.5 N**).

**Tabla 1.** Mediciones de velocidad angular.

| Punto Operación | Medición 1: Vel. Angular (rad/s) | Medición 2: Vel. Angular (rad/s) | Medición 3: Vel. Angular (rad/s) |
|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1               | 229.13                           | 228.29                           | 227.14                           |
| 2               | 200.54                           | 200.85                           | 200.85                           |
| 3               | 148.18                           | 146.40                           | 150.06                           |
| 4               | 80.01                            | 80.11                            | 80.53                            |
| 5               | 0                                | 0                                | 0                                |

**Tabla 2.** Mediciones de fuerza en dinamómetros.

| Punto Operación | Fuerza Dinamómetro 1 (N) | Fuerza Dinamómetro 2 (N) |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| 1               | 0                        | 0                        |
| 2               | 1.5                      | 0                        |
| 3               | 2.5                      | 0.5                      |
| 4               | 3.5                      | 0.5                      |
| 5               | 4.5                      | 1                        |

La estimación del torque (resultando en unidades de Nm) es a partir de la Ecuación 4, donde el radio de la turbina Pelton es 0.03 m,  $F_{din1}$  es la fuerza del primer dinamómetro y  $F_{din2}$  es la fuerza del segundo dinamómetro.

$$T = (F_{din1} - F_{din2}) \cdot 0.03 \quad (\text{Ec. 4})$$

Además, se conoce que la **densidad del fluido es 997 kg/m<sup>3</sup>**, la **aceleración de la gravedad es 9.81 m/s<sup>2</sup>**, la **altura manométrica es 22 ± 0.25 m** y el **caudal es 9.74·10<sup>-5</sup> ± 8.09·10<sup>-9</sup> m<sup>3</sup>/s**. El caudal, al igual que la velocidad angular y la fuerza, se estimó a partir de tres mediciones de tiempo (**instrumento digital con resolución de 0.0001 s**) para un único volumen equivalente a **0.01 ± 0.0005 m<sup>3</sup>**.

**Tabla 3.** Mediciones de tiempo.

| Punto Operación | Tiempo (s) |
|-----------------|------------|
| 1               | 107        |
| 2               | 99         |
| 3               | 102        |

La estimación del caudal (resultando en unidades de m<sup>3</sup>/s) es a partir de la Ecuación 5, siendo  $V$  el volumen y  $t$  el tiempo.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{Ec. 5})$$

Además, se conoce que la **densidad del fluido es 997 kg/m<sup>3</sup>**, la **aceleración de la gravedad es 9.81 m/s<sup>2</sup>**, la **altura manométrica es 22 ± 0.25 m** y el **caudal es 9.74·10<sup>-5</sup> ± 8.09·10<sup>-9</sup> m<sup>3</sup>/s**.

### Ítem 1

Para la información dada:

1. Estime la eficiencia de la turbina Pelton para cada uno de los cinco puntos diferentes de operación con sus respectivos valores de incertidumbre. La propagación de error debe realizarse en Excel.
2. Realice una gráfica de Eficiencia (eje vertical) vs. Velocidad Angular (eje horizontal) a partir de los cinco puntos de operación, e incluya las respectivas barras de error.

**Nota:** Los errores aleatorios se deben estimar con un intervalo de confianza del 95% según la distribución de probabilidad correspondiente (e.g., Normal o t-Student).

### Bono

Para la información dada:

1. Estime la eficiencia de la turbina Pelton para cada uno de los cinco puntos diferentes de operación con sus respectivos valores de incertidumbre a partir de la librería **uncertainties** en Python.
  2. Realice una gráfica de Eficiencia (eje vertical) vs. Velocidad Angular (eje horizontal) a partir de los cinco puntos de operación, e incluya las respectivas barras de error a partir de la librería **matplotlib** en Python.
-