

# **INSTALACIONES Y MÁQUINAS DE FLUIDOS**

## **GUION DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

**1º curso del Máster Universitario en Ingeniería Industrial**

### **PRÁCTICA 4: TURBINAS – TURBINA FRANCIS**

**Departamento de Ingeniería Nuclear y Mecánica de Fluidos**

Autores

Igor Peñalva

Concepción Olondo

Urko Izquierdo

## CONTENIDOS

1.	Procedimiento experimental: realización de la práctica .....	1
2.	Resultados.....	3
3.	Conclusiones.....	4
4.	Datos para la realización de la práctica.....	5

## 1. Procedimiento experimental: realización de la práctica

Para realizar la práctica se debe seguir el siguiente procedimiento:

- A. Arranque de la bomba de impulsión (Interruptor-Figura 2 del Tema 4) y apertura parcial de la válvula hasta conseguir una presión de 10,0 psi.
- B. Ajuste de dos grados diferentes en el distribuidor de la turbina. Se realizarán mediciones para 40° y 20° de apertura del distribuidor.
- C. Para cada ángulo diferente del distribuidor debe ajustarse mediante la válvula principal la presión de 10,0 psi. Además, trabajando a un cierto ángulo, para cada velocidad de giro,  $N$ , diferente, también habrá que ajustar mediante la válvula principal la presión de entrada a la turbina a 10,0 psi. Este hecho hace que el caudal se vea modificado en todo momento. Por tanto, hay que tomar una medida de caudal para cada punto a medir.
- D. Para cada grado del distribuidor, se mantendrá la presión constante en 10,0 psi, obteniendo así determinadas relaciones del par mecánico  $C_m = C_m(N)$ , potencia mecánica  $P_m = P_m(N)$  y rendimiento  $\eta = \eta(N)$  respecto de la velocidad de giro  $N$  de la turbina. Por tanto, cada vez que se varía la velocidad de giro y/o la presión, estos parámetros se verán influenciados.

Para cada grado del distribuidor se establecerán 6 diferentes velocidades de giro de la turbina variando el par resistente (fricción de la cinta) al variar el grado de apriete de la palanca superior (Figura 3 del Tema 4), a presión de entrada constante. En los siguientes apartados se describe como se mide o calcula cada una de las variables físicas que se acaban de comentar.

### I. Caudal

El caudal se calcula como el cociente entre volumen de agua impulsado y tiempo transcurrido. La escala volumétrica (Figura 2 del Tema 4) mide el volumen introducido en el tanque de medición volumétrica. Se recomienda medir en la escala volumétrica el tiempo (segundos) que se tarda en llenar un volumen determinado (entre 2 marcas de una única escala) en el tanque, de manera que el tiempo medido sea superior a 30 segundos para cada medida de caudal. Para realizar esta operación habrá que cerrar la bola del desagüe en la parte inferior del tanque (Figura 1).



Figura 1: Bola de cierre del desagüe del banco hidráulico.

## II. Salto neto

El salto neto ( $H_n$ ) en m C. A. se lee directamente en el manómetro (Figura 2 del Tema 4).

## III. Potencia hidráulica

La potencia hidráulica es la energía puesta a disposición de la turbina. Depende, principalmente, del caudal que entra a la turbina y de la altura neta:  $P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_n$

## IV. Par mecánico

El par mecánico transmitido por el rodete al disco se calcula midiendo la fuerza tangencial aplicada al disco multiplicada por el radio del disco ( $r = 0,03 \text{ m}$ ). La fuerza tangencial se calcula como la diferencia entre las lecturas en N del Dinamómetro 2,  $D_2$ , y Dinamómetro 1,  $D_1$ , (Figura 3 del Tema 4). Por tanto, el par resistente  $C_r$  aplicado al disco será:  $C_r = (F_{D2} - F_{D1}) \cdot r$

A la velocidad de giro correspondiente, el  $C_r$  será igual al par motor  $C_m$  transmitido por el rodete al disco:  $C_r = C_m$ .

## V. Velocidad de giro

Se medirá directamente con un tacómetro digital que proporciona mediciones directas de la velocidad angular  $N$  en r.p.m.

## VI. Potencia mecánica

Si la velocidad de giro del conjunto rodete-disco en r.p.m. es  $N$ , la potencia mecánica ( $P_m$ ) será:  $P_m = C_m \cdot 2 \cdot \pi \cdot N / 60$

## VII. Rendimiento de la turbina

Se calculará como el balance entre Potencia Hidráulica ( $P_h$ ) puesta a disposición de la turbina y Potencia Mecánica ( $P_m$ ) transmitida por el rodete.

$$\eta_{\text{turbina}} = P_m \cdot P_h^{-1}$$

- E. Para cada uno de los dos grados del distribuidor ( $40^\circ$  y  $20^\circ$ ), se medirán 6 combinaciones  $N$ - $(F_{D2} - F_{D1})$ , y para cada combinación se deberá de medir el caudal de entrada, manteniendo la presión constante e igual a 10,0 psi, según la Tabla 1. Se deberán de definir los extremos: el par máximo a velocidad de giro nula y la velocidad máxima (denominada también velocidad de embalamiento,  $N_{\text{emb}}$ ) obtenida sin fricción del freno. Asimismo se intentará concentrar las medidas cerca de la velocidad media dentro del rango, es decir  $N_{\text{emb}}/2$ , para definir correctamente los máximos de potencia y rendimiento. La recogida de las medidas experimental se puede realizar en una tabla como la que se muestra a continuación.

Tabla 1: Datos experimentales de medida.

P4 : Turbinas: Turbina Francis	Datos	Volumen	Tiempo	N	$F_{D2}$	$F_{D1}$
	Unidades	(l)	(s)	(r.p.m.)	(N)	(N)
Posición distribuidor (% apertura)				$N_i =$	$F_{D2i} =$	$F_{D1i} =$
				$N_i =$	$F_{D2i} =$	$F_{D1i} =$
				$N_i =$	$F_{D2i} =$	$F_{D1i} =$

## 2. Resultados

A partir de los datos experimentales se debe calcular el caudal,  $Q$  ( $m^3/s$ ), altura manométrica,  $H_n$  (m C. A.), potencia hidráulica,  $P_h$  (W), par,  $C_m$  (N·m), potencia mecánica,  $P_m$  (W) y rendimiento para cada una de las medidas de cierre del inyector. Con ello, se deberá de construir una tabla de resultados en el fichero de trabajo u hoja EXCEL. Esta tabla mostrará los datos experimentales en los cuales se basan los resultados experimentales obtenidos. Con los resultados de dicha tabla, se elaborarán las siguientes gráficas:

- **Gráfica 1:** Representar en una misma gráfica la variación del caudal con la velocidad de giro para cada posición del distribuidor. Basándose en bibliografía, indicar si se trata de una turbina Francis lenta, normal o rápida.
- **Gráfica 2:** Representar en una misma gráfica la curva de rendimiento para cada posición del distribuidor.
- **Gráfica 3:** Representar en una misma gráfica curva de potencia mecánica para cada posición del distribuidor.

- **Gráfica 4:** Representar en una misma gráfica el par para cada posición del distribuidor.

Todas las curvas deben estar ajustadas al polinomio del grado que les corresponda, la regresión debe de visualizarse y la ecuación correspondiente también. Todas las gráficas deben tener un título y ejes titulados con las unidades correspondientes. Estas gráficas se presentarán en el informe y deberá de ser posible conocer la procedencia de los datos utilizados en la representación de las mismas.

### 3. Conclusiones

En el propio fichero Excel el alumno deberá explicar la forma de las tendencias de los resultados obtenidos y detectar los parámetros relevantes a la hora de diseñar y seleccionar una turbina para que su rendimiento sea el máximo.

#### 4. Datos para la realización de la práctica

$x = 40\%$	P (p.s.i.)	Hn (m C. A.)	Nº	V (l)	T (s)	N (r.p.m.)	F <sub>1</sub> (N)	F <sub>2</sub> (N)
20,00	14,06	14,06	1,0	30 30	54,0 54,3	2955	0,0	0,0
			2,0	30 30	40,9 40,8	2470	1,1	0,4
			3,0	35 35	38,2 37,7	2005	3,0	0,4
			4,0	35 35	32,6 32,6	1700	5,6	0,8
			5,0	35 35	28,9 29,1	1420	7,0	1,0
			6,0	35 35	28,9 29,1	1370	8,0	1,2

$x = 20$	P (p.s.i.)	Hn (m C. A.)	Nº	V (l)	T (s)	N (r.p.m.)	F <sub>1</sub> (N)	F <sub>2</sub> (N)
20,00	14,06	14,06	1,0	30 30	61,4 61,4	3020	0,0	0,0
			2,0	35 35	53,6 53,7	2510	1,2	0,4
			3,0	35 35	46,3 46,1	2160	2,5	0,7
			4,0	35 35	38,5 39,0	1860	4,3	1,1
			5,0	35 35	35,0 35,2	1670	5,9	1,1
			6,0	35 35	34,5 34,2	1130	7,4	1,1