

INSTALACIONES Y MÁQUINAS DE FLUIDOS

GUION DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

1º curso del Máster Universitario en Ingeniería Industrial

TEMA 6: TURBINAS: TURBINA KAPLAN

Departamento de Ingeniería Nuclear y Mecánica de Fluidos

Autores

Igor Peñalva

Concepción Olondo

Urko Izquierdo

CONTENIDOS

1.	Fundamento teórico.....	1
2.	Equipamiento requerido y descripción de la instalación.....	1
3.	Bibliografía.....	6

1. Fundamento teórico

La turbina Kaplan es una turbina de reacción. Al igual que en una turbina Francis, los elementos más importantes que definen una turbina hélice son: i) un distribuidor formado por una corona de álabes con forma hidrodinámica que sirven para guiar el agua y regular el caudal (aunque en este caso no son móviles), ii) un rodete acoplado al eje de la turbina que adquiere un movimiento rotacional al circular el agua entre sus álabes y iii) un tubo de aspiración a la salida del rodete para maximizar el rendimiento de la turbina. El distribuidor es de mayor diámetro que el rodete, de modo que el movimiento del agua es centrípeto respecto al eje. La turbina Kaplan del laboratorio posee además un rectificador de flujo ubicado después del rodete, con el objetivo de convertir el movimiento rotacional de las líneas de corriente en una trayectoria lineal y minimizar de este modo las pérdidas energéticas debidas a la turbulencia. El final de esta turbina viene definido por un tubo de aspiración que descarga al depósito de agua desde el que se abastece la propia turbina. La diferencia de cota desde la entrada de la turbina (corona de álabes) hasta la salida (tubo de aspiración) es de 0,72 m.

Cuando se trabaja con una turbina Kaplan, se obtienen experimentalmente los diferentes puntos de funcionamiento de la turbina operando a diferentes velocidades de giro. Después, se ajustan dichos puntos a una curva utilizando el método de los mínimos cuadrados u otro similar. A continuación se detallan parámetros característicos que definen el funcionamiento de una turbina:

- Caudal (Q)
- Salto neto (H_n)
- Potencia hidráulica (P_h)
- Par mecánico (C_m)
- Potencia mecánica (P_m)
- Rendimiento (η)

2. Equipamiento requerido y descripción de la instalación

El laboratorio de Mecánica de Fluidos está equipado con una turbina Kaplan montada sobre un banco hidráulico multifunción diseñado y construido por la empresa Dikoin Ingeniería S.L. (Figura 1).

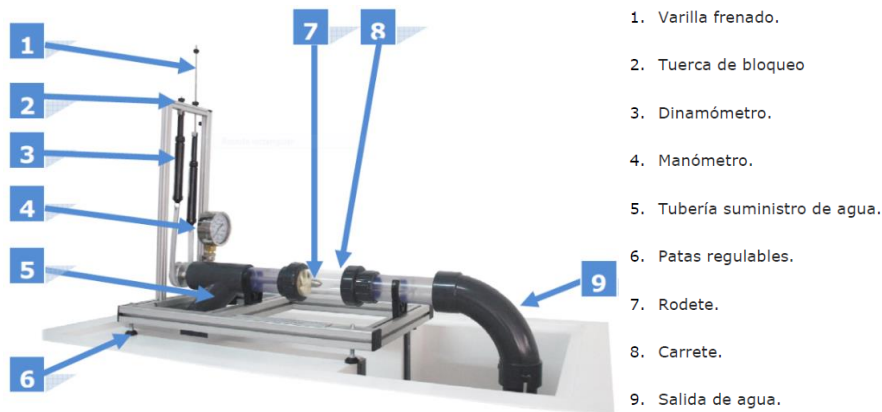


Figura 1: Componentes principales de la turbina Kaplan diseñado y construido por la empresa Dikoin Ingeniería S.L.

El banco hidráulico contiene agua en su parte inferior que es bombeada a través de dos bombas instaladas en paralelo hasta la turbina Kaplan. El caudal impulsado se puede regular a través de una válvula de regulación de caudal, y se determina mediante una lectura directa en un medidor electrónico situado en la tubería de alimentación de la turbina (en L/min). Una vez el agua es alimentada a la turbina, la presión de alimentación se puede conocer mediante un manómetro tipo Bourdon ubicado a la entrada de la turbina o mediante una columna de agua para aquellas situaciones en las que la presión de entrada sea pequeña. El agua, una vez que sale por el tubo de aspiración, regresa al depósito del banco hidráulico en circuito cerrado. En la Figura 1 se muestran las partes fundamentales de las que consta la turbina.

Antes de comenzar a trabajar con la turbina, es necesario verificar que el equipo está nivelado. En caso de no ser así, habrá que ajustar las patas regulables del mismo (Figura 2). El banco hidráulico posee dos bombas y es muy importante el modo de accionarlas (Figura 2); primero se debe de accionar el interruptor superior (el cual no tendrá efecto aparente hasta que se accione el inferior) y a continuación el inferior (que acciona el sistema completo). Con las bombas del banco hidráulico en marcha, abrimos poco a poco la válvula de regulación, observando cómo la turbina comienza a girar.



Figura 2: Sistema de nivelado e interruptores para el accionamiento de las bombas.

Con el freno de fricción se puede regular la carga de la turbina consiguiendo frenarla. El cálculo del par ejercido al realizar esa acción lo podremos realizar tomando la medida de fuerza que proporciona el dinamómetro. Para realizar esta operación adecuadamente, se deben de aflojar los dinamómetros hasta ajustarlos a cero con la turbina parada, pudiendo utilizar para ello las piezas roscadas que posee cada dinamómetro. Con la turbina en funcionamiento, apretamos las tuercas moleteadas superiores frenando la turbina hasta la velocidad deseada. En este punto leemos la fuerza ejercida, resultado de la resta de las lecturas de los dinamómetros.



Figura 3: A: Dinamómetro y detalle de la tuerca moleteada. B: Detalle de la medida del dinamómetro. C: Freno de la turbina.

La toma de presión se puede realizar de dos formas diferentes: a través de un manómetro Bourdon (mbar) o de una columna de agua (mm C. A.). Cuando la presión a la entrada es inferior a 50 mbar se utilizará la columna de agua. Para medir la presión en el manómetro Bourdon, se debe de presionar el pistón que se parecía en la primera imagen de la izquierda de la Figura 4. Sin embargo, cuando se desee tomar la medida a través de la columna de agua, se deberá de direccionar la llave que se aprecia en la imagen de la derecha de a Figura 4.



Figura 4: Modo de actuación para la toma de presión en el Manómetro Bourdon o columna de agua.

Además, esta turbina ofrece la posibilidad de trabajar con diferentes rodetes para poder comprobar de manera experimental la influencia del diseño de los mismos (ver Figura 5). En la realidad, el rodete de la turbina Kaplan tiene la capacidad de autorregular el ángulo de los álabes para poder obtener el rendimiento deseado en función del salto neto (normalmente no varía en exceso) y el caudal (parámetro que varía en mayor medida) del que se abastece en cada momento. Sin embargo, la única posibilidad de estudiar de forma experimental y en un laboratorio el efecto del ángulo de los álabes del rodete es intercambiando rodetes con ángulos de entrada y salida determinados.



Figura 5: Diferentes tipos de rodetes disponibles para trabajar con la turbina Kaplan.

Para realizar el cambio de rodete se debe primero de cerrar la bomba del banco hidráulico para evitar el paso del agua. Una vez vaciado el circuito, se debe de aflojar con ambas manos los enlaces de tres piezas que se encuentran a ambos lados del carrete (Figura 6). Sin forzar, se extraer el tubo de descarga de la pinza que lo sujeta para poder acceder al carrete con mayor facilidad. Se saca a continuación el carrete que cubre el rodete. Haciendo uso de una llave Allen y sujetando la polea en su parte posterior, se afloja el rodete para poder cambiarlo.

NOTA: Después de haber sido usado el equipo, el eje puede estar caliente debido a la fricción, por ello es aconsejable extremar la precaución y hacer uso de algún elemento aislante para agarrar la polea. Una vez cambiado el rodete, volver a montar.

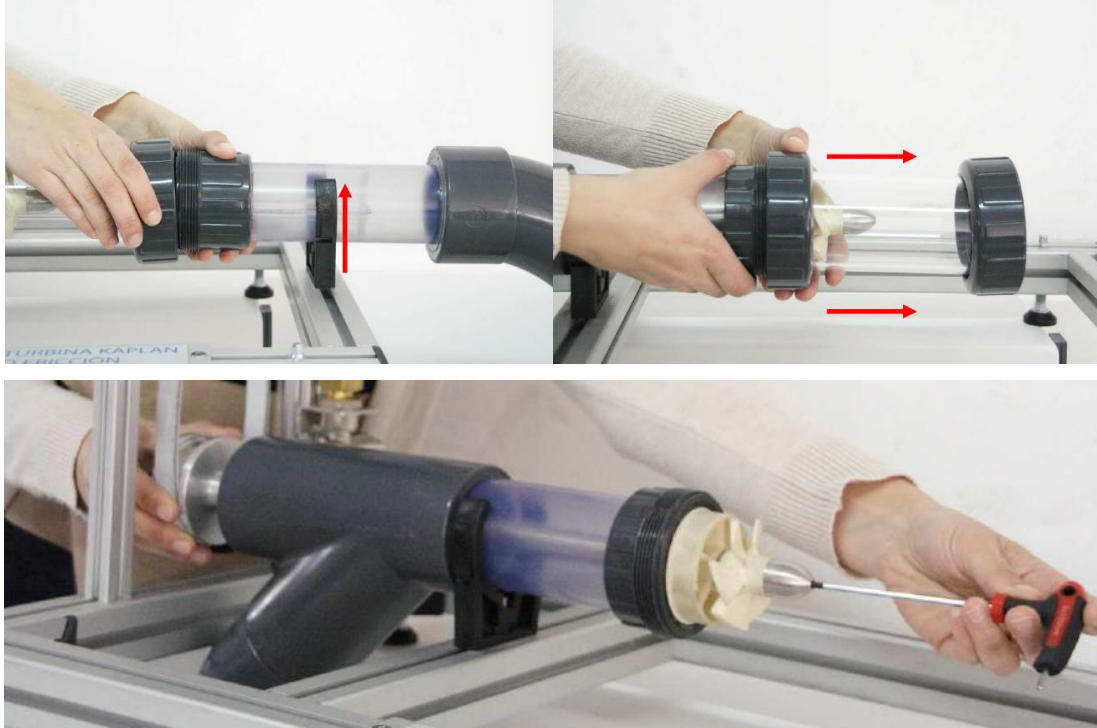


Figura 6: Modo de actuación para la realizar un cambio de rodete.

A continuación se detallan las características principales de ciertos componentes adicionales de la instalación:

Diámetros interiores:

- Tubería impulsión diámetro exterior = 63 mm. Diámetro interior = 56,5 mm

Manómetros:

- Tipo Bourdon con glicerina de 0 a 400 mbar

Dinamómetro:

- 2x Dinamómetro 2 kg x 10 g

Características de la turbina:

- Tipo: Kaplan
- Número de álabes del rodete: 6
- Ángulo de los álabes del rodete
 - Ángulo mínimo (entrada/salida): 26°/11°
 - Ángulo medio (entrada/salida): 41°/26°
 - Ángulo máximo (entrada/salida): 49°/34°

3. Bibliografía

Bibliografía clásica de mecánica de fluidos

- Streeter, Victor L., Wylie, E. Benjamin, et al. *Mecánica de los Fluidos*. McGraw-Hill, 2000. ISBN: 958-600-987-4.
- White, Frank M. *Mecánica de Fluidos*. McGraw-Hill, 2003. ISBN: 84-481-4076-1.
- Crespo, Antonio. *Mecánica de Fluidos*. Thomson Editores Spain Paraninfo S. A., 2006. ISBN: 84-9732-292-4.
- Mataix, Claudio. *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. Ediciones del Castillo S. A., 1986. ISBN: 84-219-0175-3.
- Fox, Robert W. and McDonald, Alan T. *Introducción a la Mecánica de Fluidos*. McGraw-Hill, 2005. ISBN: 970-10-0669-0.
- Douglas, John F. *Problemas resueltos de Mecánica de Fluidos Vol I y Vol II*. Ed. Bellisco, 1991. ISBN: 84-85198-50-6.
- Gerhart, Philip M., Gross, Richard J., et al. *Fundamentos de Mecánica de Fluidos*. Ed. Wilmington-Delaware, 1995. ISBN: 0-201-60105-2.
- Pastor, Justo. *Mecánica de Fluidos Tomo I y Tomo II*. Ed. Estudios Grafor, 1972. Depósito legal BI-1016-1972.
- Giles, Randal V., R.V., Evett, Jack B., et al. *Mecánica de fluidos e Hidráulica*, 1998. ISBN: 84-481-1898-7.
- Mott, Robert L. *Mecánica de Fluidos Aplicada*. 4ª edición. Prentice-Hall Hispanoamericana, 1996. ISBN: 968-880-542-4.

Bibliografía de bombas y turbinas

- Agüera Soriano, José. *Mecánica de Fluidos Incompresibles y Turbomáquinas Hidráulicas*. 5ª Edición Actualizada. Ed. Ciencia 3, S.L., 2002. ISBN: 84-95391-01-05.
- Mataix, Claudio. *Turbomáquinas Hidráulicas. Turbinas Hidráulicas, Bombas y Ventiladores*. 2ª Edición revisada y corregida. Ed. Amábar S.L., 2009. ISBN: 978-84-8468-252-3.
- Larreategui, Andoni. *Elementos de Máquinas Hidráulicas*. Edición de 2007. Sección de publicaciones de la E.T.S.I. de Bilbao, 2007.
- Almandoz B., Xabier, Mongelos O., Mª Belén, et al. *Apuntes de Máquinas Hidráulicas*. 2ª Edición. Sección de publicaciones de la EUP, 2007. ISBN: 978-84-690-5856-5.
- Pastor, Justo. *Máquinas Hidráulicas y de Fluidos*. Sección de publicaciones de la E.T.S.I. de Bilbao, 1972.

Bibliografía de centrales hidroeléctricas

- L. Cuesta, Diego and Vallarino, Eugenio. *Aprovechamientos hidroeléctricos*. 2ª Edición. Ed. Ibergarceta Publicaciones S.L., 2014. ISBN: 978-84-1622-808-9.
- Zopetti, Gaudencio. *Centrales Hidroeléctricas*. 5ª Edición. Ed. Calypso S.A., 1982. ISBN: 968-6085-55-6.
- *Centrales Hidroeléctricas*. Ed. Paraninfo S.A., 1994. ISBN: 84-283-2069-1 e ISBN-84-283-2070-5.

Bibliografía de turbinas

- Cuesta Diego, Luis and Vallarino, Eugenio. *Aprovechamientos hidroeléctricos*. Ed. Ibergarceta Publicaciones S.L., 2015. ISBN: 978-84-1622-808-9.
- Zopetti, Gaudencio. *Centrales hidroeléctricas*. Ed. G. Gili S.A. (1982). ISBN: 968-6085-55-6.