

# **INSTALACIONES Y MÁQUINAS DE FLUIDOS**

## **GUION DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

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

### **TEMA 2: BOMBAS - VELOCIDAD DE GIRO**

**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.....	3
3.	Bibliografía.....	8

## 1. Fundamento teórico

Tal y como se ha explicado en el apartado anterior correspondiente a la Práctica 1, la curva característica más frecuente de una bomba hidráulica es aquella que relaciona para un régimen de giro concreto, la altura  $H$  con el caudal  $Q$  que suministra. Debido a pérdidas y a la existencia de un número de álabes finito, la curva real se define como una función parabólica,  $H = A + B \cdot Q + C \cdot Q^2$  en lugar de una lineal (curva teórica), tal y como se ha mostrado anteriormente en la Figura 1 correspondiente a la Práctica 1.

Mediante un análisis puramente teórico, no puede obtenerse la expresión matemática de la correspondiente curva característica para cada caso específico. En general, se determina la curva experimentalmente en un banco de ensayos y ésta será la que el fabricante de la bomba suministre al usuario.

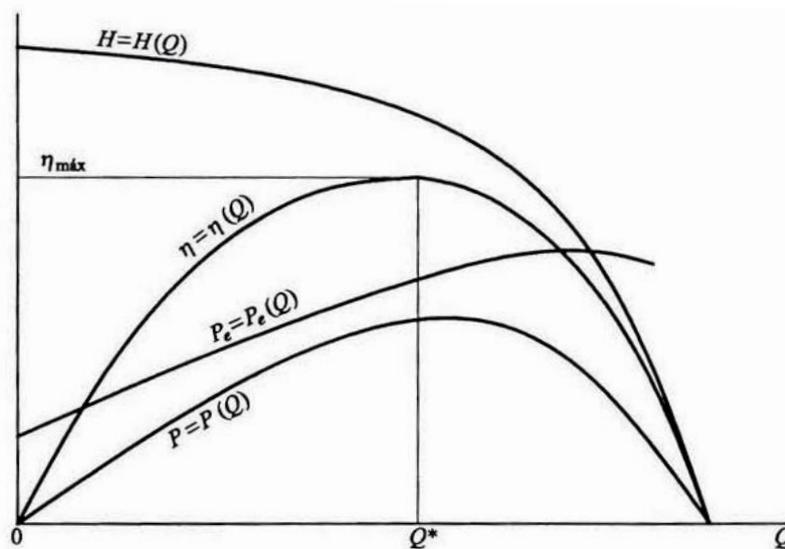
A la hora de diseñar instalaciones se debe de tener en cuenta el rendimiento de la bomba y la de la instalación en su totalidad. Para ello, se definen a continuación las potencias y rendimientos que caracterizan una instalación:

- Potencia hidráulica: es aquella ganada por el líquido y se define como:  $P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$
- Potencia mecánica o potencia exterior del eje de la bomba:  $P_m = M \cdot N$
- Potencia eléctrica: dato que refleja el consumo eléctrico de la bomba de la instalación.

El momento,  $M$ , se puede medir mediante un freno dinamométrico tal y como se detalla más adelante, y la velocidad de giro,  $N$ , mediante un tacómetro. A continuación se especifican los distintos rendimientos en base a las potencias previamente definidas:

- Rendimiento global de la bomba:  $\eta_{G.B.} = P_h / P_m$
- Rendimiento global del motor:  $\eta_{G.M.} = P_m / P_e$
- Rendimiento global de la moto-bomba:  $\eta_{G.M-B.} = \eta_{G.B.} \cdot \eta_{G.M.} = P_h / P_e$

Así, la curva característica, rendimiento global de la bomba, potencia hidráulica y potencia mecánica pueden representarse de la siguiente forma (Figura 1):



**Figura 1:** Evolución de la altura manométrica, rendimiento global de la bomba, potencia en el eje ( $P_e$ ) o potencia mecánica y potencia hidráulica ( $P$ ) en función del caudal.

Tal y como se observa en la Figura 1, siempre existe un consumo una vez se enciende la bomba aunque no se bombee fluido. Por tanto, el ajuste de la curva de potencia en el eje,  $P_e$ , o potencia mecánica (en adelante  $P_e = P_m =$  potencia mecánica) se realizará en base a un polinomio de grado dos.

$$P_m(Q) = D + E \cdot Q + F \cdot Q^2$$

Sin embargo, la potencia hidráulica,  $P$ , (en adelante  $P = P_h =$  potencia hidráulica) se ajusta a una curva de tipo:

$$P_h(Q) = G \cdot Q + H \cdot Q^2$$

En el caso de los rendimientos definidos anteriormente, éstos se ajustan a una expresión de tipo:

$$\eta(Q) = I \cdot Q + J \cdot Q^2$$

Donde mejor trabaja la bomba es con su potencia nominal, es decir, la correspondiente al caudal  $Q^*$  de diseño (ver Figura 1), pero también a una banda de caudales próximos a ese caudal óptimo, en la que el rendimiento resulta satisfactorio.

Para predecir el funcionamiento de la bomba en otras condiciones, como puede ser una velocidad de giro diferente, se utilizan las leyes de semejanza. Por tanto, se define  $R_N$  como la relación entre la velocidad de giro conocida ( $N$ ) y la deseada ( $N'$ ):

$$R_N = N'/N$$

Además, las expresiones matemáticas que relacionan la altura manométrica, caudal, potencia y rendimiento con la velocidad de giro son las siguientes:

$$\frac{H'}{H} = \left(\frac{N'}{N}\right)^2 = R_N^2$$

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{N'}{N} = R_N$$

$$\frac{P'}{P} = \left(\frac{N'}{N}\right)^3 = R_N^3$$

$$\eta = \eta'$$

Aplicando las leyes de semejanza correspondientes, se pueden obtener las curvas de una bomba semejante a la dada, operando a una velocidad de giro diferente:

$$H' = A \cdot R_N^2 + B \cdot R_N \cdot Q' + C \cdot Q'^2$$

$$P_m' = D \cdot R_N^3 + E \cdot R_N^2 \cdot Q' + F \cdot R_N \cdot Q'^2$$

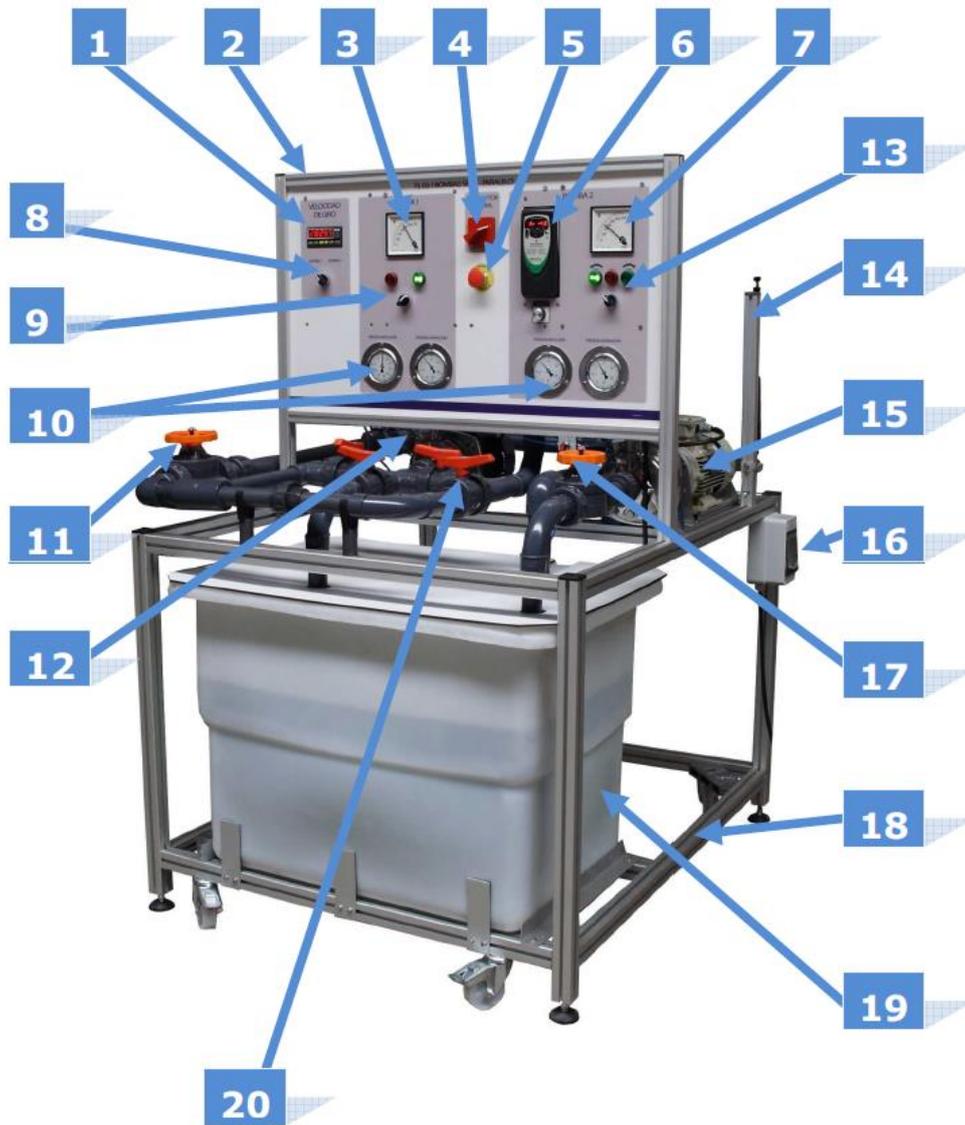
$$P_h' = G \cdot R_N^2 \cdot Q' + H \cdot R_N \cdot Q'^2$$

$$\eta' = I \cdot \left(\frac{1}{R_N}\right) \cdot Q' + J \cdot \left(\frac{1}{R_N}\right)^2 \cdot Q'^2$$

Utilizando las leyes de semejanza, en lugar de volver a realizar todo el proceso de experimentación en un banco de ensayos, y basándonos en las curvas obtenidas para ciertas condiciones, podremos calcular las curvas de esa misma bomba para otras condiciones de funcionamiento (velocidad de giro).

## 2. Equipamiento requerido y descripción de la instalación

El laboratorio de Mecánica de Fluidos está equipado con un banco de bombas diseñado y construido por la empresa Dikoin Ingeniería S.L. Este banco de bombas consta de los siguientes elementos básicos (Figura 2):



**Figura 2:** Banco de bombas diseñado y construido por la empresa Dikoin Ingeniería S.L..

Donde,

1. Indicador digital del medidor de velocidad (rpm).
2. Panel de control.
3. Vatímetros bomba centrífuga velocidad fija.
4. Interruptor general.
5. Parada de emergencia.
6. Variador de frecuencia
7. Vatímetro bomba velocidad variable
8. Selector de visualización de rpm (B1 o B2)
9. Interruptor bomba de velocidad centrífuga (fija).
10. Manovacúómetros tipo Bourdon
11. Válvula de regulación de caudal (impulsión)
12. Bomba centrífuga.
13. Interruptor bomba centrífuga con motor en balancín y variador de velocidad
14. Dinamómetro
15. Bomba centrífuga con motor en balancín y variador de velocidad.
16. Interruptor de acometida
17. Válvula de regulación aspiración.
18. Banco de perfiles de aluminio.
19. Depósito.
20. Válvulas de bola.

La bomba B.2 cuenta con un inversor de frecuencia (6) en la alimentación lo cual permite modificar la velocidad de giro de la misma. La bomba B.1 no cuenta con inversor de frecuencia. En su lateral, el banco cuenta con un lector directo del caudal ( $m^3/h$ ).

El par transmitido por el motor de la bomba de velocidad variable, se mide utilizando el dinamómetro situado junto a él (Figura 3). Para poder usarlo de forma adecuada, primero hay que ajustar a cero el dinamómetro igualando los índices: el índice situado en la barra vertical (se trata de una placa metálica fija), con el índice ubicado en el extremo del eje de la bomba (placa metálica unida al eje de la bomba y que por tanto puede moverse). Se deben realizar los siguientes pasos:

- Con la bomba parada, aflojamos el mando negro (1) situado en el perfil de aluminio, haciendo deslizar la varilla hasta que coincidan los dos índices.
- Asimismo la escala del dinamómetro debe de ajustarse hasta la posición cero, para ello utilizamos la tuerca negra (2) de la parte superior del mismo.

Por tanto, el cero se corresponderá con aquella posición horizontal de la bomba en la que ésta no ejerza fuerza alguna sobre el dinamómetro.

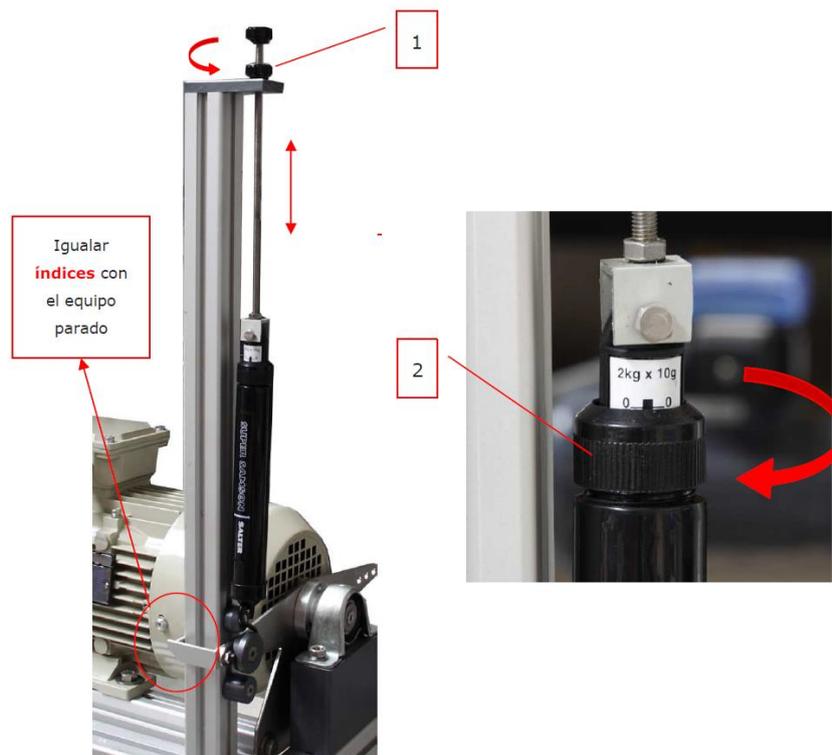
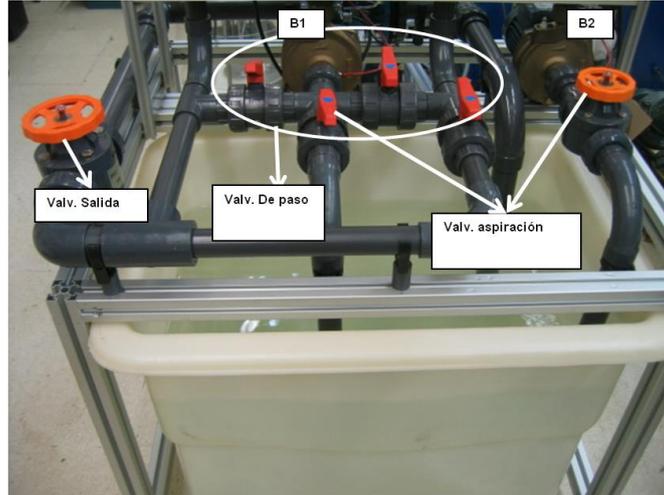


Figura 3: *Dinamómetro y balancín.*

Cuando ambos estén situados a la misma altura, el sistema estará en equilibrio. El brazo, desde el dinamómetro al eje de la bomba, mide 0,110 m. Finalmente, el banco cuenta con un conjunto de tuberías y llaves de conexión para realizar las distintas prácticas así como con un depósito de agua en su parte inferior (Figura 4).



**Figura 4.** Tuberías, llaves y depósito inferior de agua.

### 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, Ranald 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*. 4<sup>o</sup> 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*. 5<sup>a</sup> Edición Actualizada. Ed. Ciencia 3, S.L., 2002. ISBN: 84-95391-01-05.
- Mataix, Claudio. *Turbomáquinas Hidráulicas. Turbinas Hidráulicas, Bombas y Ventiladores*. 2<sup>a</sup> 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., M<sup>a</sup> Belén, et al. *Apuntes de Máquinas Hidráulicas*. 2<sup>a</sup> 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 bombas**

- Karassik, Igor J. and Messina, Joseph P. *Pump Handbook*. 4<sup>th</sup> Edition. Ed. McGraw-Hill, 2008. ISBN: 978-0-07-146044-6.
- Zubicaray, Manuel V., and Álvarez Fernández, Javier. *Bombas. Teoría, Diseño y Aplicaciones*. 3<sup>a</sup> Edición. Ed. Limusa S.A., 2003. ISBN: 968-18-6443-3.
- McNaughton, Kenneth. *Bombas. Selección, Uso y Mantenimiento*. Ed. McGraw-Hill, 1992. ISBN: 0-07-024314-X.
- De las Heras, Salvador. *Fluidos, Bombas e Instalaciones Hidráulicas*. Ed. Publicaciones UPC, 2011. ISBN: 978-84-7653-801-2.