



Guía de actividades para la realización del estudio de una bomba centrífuga
PRACTICAS 1 a 3

Actividad de Formación Práctica

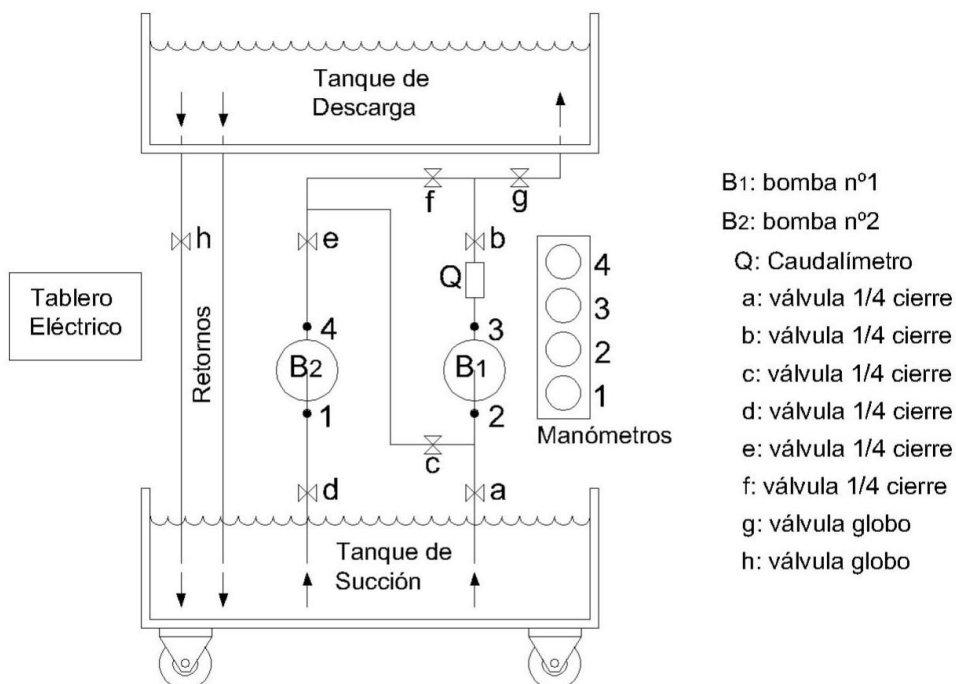
Formación Experimental de Laboratorio de hidráulica a partir de la utilización del banco de bombas

Objetivo: Aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en la cursada, al estudio de una bomba centrífuga que se encuentra actuando en un banco

Introducción:

El mismo consta de dos bombas NOWAX, de características semejantes, el punto de acometida se encuentra en el tablero de donde se encienden las mismas, desde allí se conectará el medidor de potencia eléctrica.

Esquema del Banco de Bombas



El banco además posee dos manómetros y dos manovacuumetros los cuales miden la altura de aspiración y la altura de descarga, tablero con los números 1,2,3,4. Asimismo tenemos un caudalímetro Q, para medir el caudal a través del circuito y una válvula globo g, para regular el caudal que circula por el circuito seleccionado, como así también válvula de 1/4 de cierre (asiento esférico) para controlar el pasaje de fluido por los distintos circuitos (a, b, c,



UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA
SANTA MARÍA DE LOS BUENOS AIRES
FACULTAD DE FISICOMATEMÁTICAS E INGENIERÍA
 Ingeniería Civil – Ingeniería Ambiental

d, e). La válvula de mariposa h está a los efectos de evitar el rebose del tanque superior en el caso que se prueben las dos bombas a la vez.

Los distintos circuitos que pueden efectuarse son:

Cada bomba por separado

Dos bombas en paralelo

Dos bombas en serie



Medidor de caudal **GPI**



Válvula globo

Tablero de Manómetros y vacuómetros

Una bomba centrífuga es, por definición, una máquina que transmite energía a un fluido incompresible (agua en nuestro caso). En la Fig. 1 se representa un esquema sencillo en el cual distinguimos el tubo de aspiración (entrada del agua) y el tubo de impulsión (salida del agua). El motor eléctrico acoplado a la bomba hace girar su rotor. Esta rotación genera un defecto de presión respecto de la presión atmosférica a la entrada del mencionado rotor. De este modo, el aire externo empuja la masa líquida dentro del rotor y el agua sale por la periferia del mismo. Como consecuencia de su viaje a través del rotor, el agua adquiere energía adicional que le permitirá salvar desniveles en los distintos tramos de su curso posterior, u obtener presión suficiente para otros usos. Hacemos aquí la observación de que, cuando la bomba está funcionando, la presión a la entrada del rotor será menor que la atmosférica.

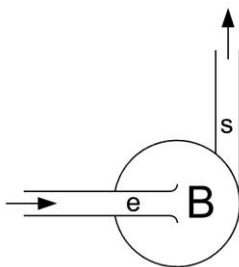


Figura 1

Si en la Fig. 1 aplicamos Bernoulli entre la entrada y la salida de la bomba, suponiendo un flujo irrotacional e incompresible y una bomba que no entrega energía, obtendremos:

$$z_s + \frac{p_s}{\rho g} + \frac{v_s^2}{2g} = z_e + \frac{p_e}{\rho g} + \frac{v_e^2}{2g} \quad (1)$$

Donde p es la presión, v es la velocidad, ρ es la densidad, g es la aceleración de la gravedad y z es la altura medida desde una referencia horizontal arbitraria. Los subíndices “e” y “s” hacen referencia a “entrada” y “salida”, respectivamente.



UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA
SANTA MARÍA DE LOS BUENOS AIRES
FACULTAD DE FISICOMATEMÁTICAS E INGENIERÍA
Ingeniería Civil – Ingeniería Ambiental

A consecuencia de que no se han tenido en cuenta la viscosidad del fluido, ni la turbulencia del flujo, ni la energía entregada por máquinas, no se podrá satisfacer la igualdad en la ecuación anterior. La bomba trabaja entregando energía al fluido, energía cuantificada a través de la llamada altura manométrica H_m suministrada por la bomba:

$$z_s + \frac{p_s}{\rho g} + \frac{v_s^2}{2g} = z_e + \frac{p_e}{\rho g} + \frac{v_e^2}{2g} + H_m \quad (2)$$

Dicha altura manométrica H_m dependerá fundamentalmente del caudal circulante a través de la bomba, la geometría del rotor y su frecuencia de rotación.

Si en la ecuación anterior, despreciamos las diferencias tanto de alturas como de velocidades entre la entrada y la salida, obtenemos:

$$H_m \approx \frac{p_s - p_e}{\rho g} \quad (3)$$

Cabe comentar el hecho de que para calcular H_m , podíamos no haber despreciado las diferencias de velocidades y de altura entre la entrada y la salida de la bomba. Así, para calcular las primeras, como conocemos el diámetro tanto de la tubería de impulsión ($D_i = 34$ mm) como de la tubería de aspiración ($D_a = 45.2$ mm), bastará con hacer lo siguiente:

$$\left. \begin{aligned} v_a &= \frac{4Q}{\pi D_a^2} \\ v_i &= \frac{4Q}{\pi D_i^2} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Así mismo, la diferencia de altura entre la entrada y la salida de la bomba la podemos medir directamente con una regla en el banco de ensayos. No obstante, y por simplificar el análisis posterior de errores, nos quedaremos con la ecuación (3) para aproximar H_m .

Por otra parte, la curva característica de una bomba, idealmente la podemos aproximar por una recta del tipo:

$$H_m(Q) = \alpha - \beta Q \quad (5)$$

Donde α y β son constantes que dependen de las características de la bomba (velocidad de giro, radio y ancho de los álabes del rotor, ángulo de los álabes, etc) y Q es el caudal que circula por la bomba.



La gráfica $H_m = H_m(Q)$, según la ecuación (5), sería una recta con pendiente $-\beta$ y ordenada en el origen α/β . En la realidad, la curva característica es no lineal y tiene la forma indicada en la Fig. 2, la cual es claramente no lineal, a consecuencia de la consideración de las pérdidas viscosas y turbulentas.

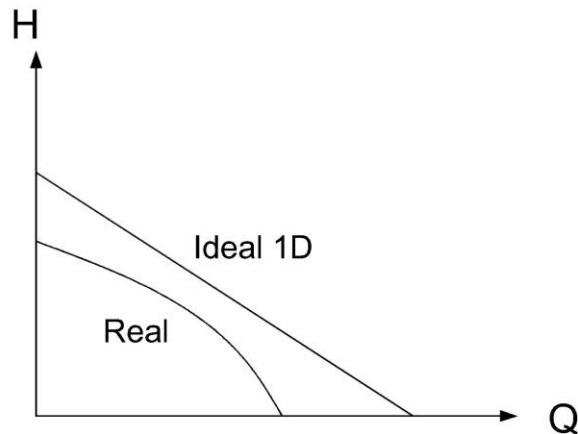


Figura 2

Una vez conocida la altura manométrica H_m para un caudal de funcionamiento Q , podemos calcular la potencia transmitida al fluido:

$$W = Q(p_s - p_e) = \rho g Q H_m \quad (6)$$

A su vez, en el watímetro puede leerse la potencia eléctrica W_e ; la potencia eléctrica consumida por la bomba. Como sabemos, el rendimiento total de la bomba se puede definir del siguiente modo:

$$\eta_t = \frac{W}{W_e} \quad (7)$$

En esta práctica, determinaremos experimentalmente la altura manométrica suministrada por la bomba, la potencia transmitida al fluido, así como el rendimiento total de la misma en función del caudal.

Cebado de una bomba:

Las bombas centrífugas no son autocebantes, a diferencia de las bombas de émbolo y en general todas las de desplazamiento positivo. Esta diferencia de comportamiento se debe a que, en las primeras, el principio de funcionamiento es la ecuación de Euler, mientras que en las segundas es el principio de Pascal.

En efecto, una bomba centrífuga funcionando bajo un determinado régimen de giro, genera una altura dada. Esta altura, según la ecuación de Euler, no depende de la densidad del fluido. Así, por ejemplo, una bomba que genera



UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA
SANTA MARÍA DE LOS BUENOS AIRES
FACULTAD DE FISICOMATEMÁTICAS E INGENIERÍA
Ingeniería Civil – Ingeniería Ambiental

una altura manométrica de 100 m, proporcionará en teoría esa misma altura tanto si está llena de aire como si está llena de agua. Sin embargo:

- Si la bomba está llena de aire (bomba descebada), el incremento de presión generado por la misma, suponiendo una densidad del aire $\rho_{\text{aire}} = 1.29 \text{ kg/m}^3$, será:

$$\Delta p = \rho_{\text{aire}} \cdot g \cdot H = 1,29 \cdot 9,81 \cdot 100 = 1265,5 \text{ Pa} \Rightarrow \frac{1265,5}{1000 \times 9,81} = 0,129 \text{ m.c.agua}$$

- Si la bomba está llena de agua (bomba cebada), el incremento de presión generado será entonces:

$$\Delta p = \rho_{\text{agua}} \cdot g \cdot H = 1000 \cdot 9,81 \cdot 100 = 98100 \text{ Pa} \Rightarrow \frac{98100}{1000 \times 9,81} = 100 \text{ m.c.agua}$$

Con lo cual, podemos observar cómo al pasar ambos incrementos de presión a metros columna de agua, el incremento de presión obtenido cuando la bomba funciona con aire es insignificante con respecto al conseguido cuando ésta trabaja con agua (de ahí que sea necesario cebar las bombas rotodinámicas, en cualquier situación).



Es por eso que antes de comenzar la experiencia debemos verificar que los conductos estén llenos de líquido, de lo contrario, debemos cebar la bomba, retirando el tornillo hexagonal que se encuentra en la parte superior de la carcasa (ver foto) y llenar la carcasa de líquido con la ayuda de un embudo.

PRACTICA N° 1:

DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA

1) La válvula de regulación que se encuentra en el tubo de aspiración de la primera bomba **a** debe quedar totalmente cerrada. La válvula de regulación esférica **g** que se encuentra situada delante del caudalímetro, debe estar totalmente abierta. Se conectará el watímetro en derivación pero previamente antes de encender las bombas se efectuará un puente a fin de que en el momento de arranque el instrumento no absorba toda la corriente.

Se puede empezar tomando una medida con la válvula completamente abierta (Q_{max}), y luego hacer sucesivas mediciones cerrándola, hasta llegar al caudal mínimo de funcionamiento de la bomba.



UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA
SANTA MARÍA DE LOS BUENOS AIRES
FACULTAD DE FISICOMATEMÁTICAS E INGENIERÍA
Ingeniería Civil – Ingeniería Ambiental

- 1) Ponemos en funcionamiento la primera bomba, previo cebado de la misma. Para ello, conectamos el interruptor general del tablero. Con las válvulas de aspiración e impulsión cerradas, de la bomba que no se utiliza accionamos el interruptor de la bomba queremos poner en funcionamiento, con la válvula g abierta.
- 2) La válvula de regulación que se encuentra en el tubo de aspiración de la primera bomba a debe quedar totalmente abierta. Con la válvula de regulación esférica g que se encuentra situada delante del caudalímetro, variamos el caudal circulante (lo hacemos así, y no al revés, es decir, no variamos el caudal con la válvula situada en la aspiración de la bomba, para evitar problemas de cavitación). Al maniobrar las válvulas, lo haremos con cuidado, evitando las sobrepresiones, o que cualquiera de los manómetros trabaje fuera del rango de lectura.
- 3) Para los distintos caudales, se miden las presiones manométricas a la entrada y a la salida de la bomba. Para ello, disponemos de manómetros para las presiones a la entrada y manovacúómetros para las presiones a la salida. Cabe observar que la presión a la entrada de las bombas es negativa como lo indica el manovacúómetro.

Tabla para registro de datos de la experiencia

	Q (m ³ /seg)	P _{entrada} (bar)	P _{salida} (bar)	Potencia (W)	Potencia Hidráulica	H _{bomba} (m)	η
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

5) Se anota en una tabla las lecturas del caudal, de las presiones a la entrada a la bomba y de salida de la bomba como así también del vatímetro W_e que se encuentra ubicado a un lado del equipo. Anotamos después la altura manométrica (calculada mediante la ecuación (3)), la potencia hidráulica W (calculada con la ecuación (6)) y la potencia eléctrica. Expresamos dicha potencia en Watt. Una vez calculadas las potencias W y W_e , calculamos el rendimiento (cociente entre W_e y W a partir de la ecuación (8)). Confeccionamos así mismo una tabla de datos y resultados como las anteriores (en torno a 6 u 8 puntos, para así poder tener perfectamente caracterizadas las curvas de la bomba):

6) Graficamos $H_m(Q)$, $W(Q)$, y $\eta(Q)$.



PRACTICA N° 2:

**DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE DOS BOMBAS
CENTRÍFUGAS EN SERIE**

1) La válvula de regulación que se encuentra en el tubo de aspiración de la primera bomba **a** debe quedar totalmente abierta. La válvula de regulación **g** que se encuentra situada delante del caudalímetro, debe estar totalmente abierta. Se abrirán las válvulas **d**, **e** y **c**, cerrándose **f**. Se conectará el watímetro en derivación pero previamente antes de encender las bombas se efectuará un puente a fin de que en el momento de arranque el instrumento no absorba toda la corriente.

Se puede empezar tomando una medida con la válvula completamente abierta (Q max.), y luego hacer sucesivas mediciones cerrándola, hasta llegar al caudal mínimo de funcionamiento de la bomba.

2) Ponemos en funcionamiento la primera bomba, previo cebado de la misma. Para ello, conectamos el interruptor general del tablero. Luego ponemos la segunda bomba en funcionamiento verificando que circule el agua por las cañerías observando el caudalímetro, ante cualquier inconveniente, inmediatamente se debe presionar el botón de parada general del equipo.

3) La válvula de regulación que se encuentra en el tubo de aspiración de la primera bomba **a** debe quedar totalmente cerrada. Con la válvula de regulación esférica **g** que se encuentra situada delante del caudalímetro, variamos el caudal circulante (lo hacemos así, y no al revés, es decir, no variamos el caudal con la válvula situada en la aspiración de la bomba, para evitar problemas de cavitación). Al maniobrar la válvulas, lo haremos con cuidado, evitando las sobrepresiones, o que cualquiera de los manómetros trabaje fuera del rango de lectura.

4) Para los distintos caudales, se miden las presiones manométricas a la entrada y a la salida de las bombas. Para ello, disponemos de manómetros para las presiones a la entrada y manovacuómetros para las presiones a la salida. Cabe observar que la presión a la entrada de las bombas es negativa como lo indica el manovacuómetro.

Tabla para registro de datos de la experiencia

	Q (m ³ /seg)	P _{entrada} (bar) Bomba 2	P _{salida} (bar) Bomba 1	Potencia (W) General	Potencia Hidráulica Conjunto	H _{bomba} (m) conjunto	η
1							
2							
3							
4							



UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA
SANTA MARÍA DE LOS BUENOS AIRES
FACULTAD DE FISICOMATEMÁTICAS E INGENIERÍA
Ingeniería Civil – Ingeniería Ambiental

5							
6							
7							
8							

5) Se registra en la tabla las lecturas del caudal, de las presiones a la entrada y de salida como así también del vatímetro W_e que se encuentra ubicado a un lado del equipo. Anotamos después la altura manométrica (calculada mediante la ecuación (3)), la potencia hidráulica W (calculada con la ecuación (6)) y la potencia eléctrica. Expresamos dicha potencia en watts. Una vez calculadas las potencias W y W_e , calculamos el rendimiento (cociente entre W_e y W a partir de la ecuación (8)). Confeccionamos así mismo una tabla de datos y resultados (en torno a 6 u 8 puntos, para así poder tener perfectamente caracterizadas las curvas de la bomba):

6) Graficamos $H_m(Q)$, $W(Q)$, y $\eta(Q)$.

PRACTICA N° 3:

**DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE DOS BOMBAS
CENTRÍFUGAS EN PARALELO**

1) La válvula de regulación que se encuentra en el tubo de aspiración de las bombas **a** y **d** deben estar abiertas. La válvula de regulación **g** que se encuentra situada delante del caudalímetro, debe estar totalmente abierta. Se abrirán las válvulas **f**, cerrándose **c**. Se conectará el vatímetro en derivación pero previamente antes de encender las bombas se efectuará un puente a fin de que en el momento de arranque el instrumento no absorba toda la corriente de las bombas en el arranque.

Se puede empezar tomando una medida con la válvula completamente abierta ($Q_{max.}$), y luego hacer sucesivas mediciones cerrándola, hasta llegar al caudal mínimo de funcionamiento de la bomba.

2) Ponemos en funcionamiento la primera bomba, previo cebado de la misma. Para ello, conectamos el interruptor general del tablero, luego ponemos la segunda bomba en funcionamiento verificando que circule el agua por las cañerías observando el caudalímetro, ante cualquier inconveniente, inmediatamente se debe presionar el botón de parada general del equipo.

3) Con la válvula de regulación esférica **g** que se encuentra situada delante del caudalímetro, variamos el caudal circulante (lo hacemos así, y no al revés, es decir, no variamos el caudal con la válvula situada en la aspiración de la bomba, para evitar problemas de cavitación). Al maniobrar las válvulas, lo haremos con cuidado, evitando las sobrepresiones, o que cualquiera de los manómetros trabaje fuera del rango de lectura.



UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA
SANTA MARÍA DE LOS BUENOS AIRES
FACULTAD DE FISICOMATEMÁTICAS E INGENIERÍA
Ingeniería Civil – Ingeniería Ambiental

4) Para los distintos caudales, se miden las presiones manométricas a la entrada y a la salida de las bombas. Para ello, disponemos de manómetros para las presiones a la entrada y manovacuómetros para las presiones a la salida. Cabe observar que la presión a la entrada de las bombas es negativa como lo indica el manovacuómetro.

Tabla para registro de datos de la experiencia

	Q (m ³ /seg)	P _{entrada} (bar)		P _{salida} (bar)		Potencia (W)	H _{bomba} (m)		η	
		B1	B2	B1	B2		B1	B2	B1	B2
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										

5) Se registra en la tabla las lecturas del caudal, de las presiones a la entrada y de salida como así también del vatímetro W_e que se encuentra ubicado a un lado del equipo. Anotamos después la altura manométrica (calculada mediante la ecuación (3)), la potencia hidráulica W (calculada con la ecuación (6)) y la potencia eléctrica. Expresamos dicha potencia en Watt. Una vez calculadas las potencias W y W_e , calculamos el rendimiento (cociente entre W_e y W a partir de la ecuación (8)). Confeccionamos así mismo una tabla de datos y resultados (en torno a 6 u 8 puntos, para así poder tener perfectamente caracterizadas las curvas de la bomba):

6) Graficamos $H_m(Q)$, $W(Q)$, y $\eta(Q)$ para el conjunto