

GUÍA DE LABORATORIO PARA LA OBTENCIÓN DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE BOMBAS CENTRIFUGAS CONECTADAS EN SERIE Y EN PARALELO

Resumen: En esta guía de laboratorio se establece una metodología para determinar de manera experimental las curvas características de cada bomba y de los sistemas de estas bombas funcionando en serie y paralelo.

1. INTRODUCCIÓN

A continuación se presentan las fórmulas necesarias para la correcta realización de la práctica.

Curva de funcionamiento de una bomba centrífuga

$$H = a - bQ^2 \quad (1)$$

La relación H (Q) tiene forma polinómica de segundo grado, donde:

H: Cabeza o altura de la bomba [m].

a: Coeficiente del polinomio representativo de la curva H-Q que define el valor de la carga que desarrolla la bomba para caudal cero o válvula cerrada, también conocido como altura estática [m].

b: Coeficiente del polinomio representativo de la curva Q-H $\left[\frac{s^2}{m^5}\right]$

Q: caudal impulsado por la bomba $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

Potencia eléctrica consumida por la bomba

$$P_e = I * V \quad (2)$$

Donde:

P_e = potencia eléctrica (W)

I = corriente de funcionamiento de la bomba (A)

V = tensión de funcionamiento (V)

Para fines prácticos, se despreciará la eficiencia del motor y se considerará la potencia eléctrica igual a la potencia de accionamiento (Pa)

Altura útil o efectiva

$$H = \frac{\Delta p}{\gamma} \quad (3)$$

H= altura útil

Δp = es la diferencia de las presiones de entrada y salida

Potencia útil

$$P_{\text{útil}} = \gamma * Q_r * H \quad (3)$$

Donde:

γ = peso específico del agua

Q_r = Caudal real

H = altura útil (mca)

$P_{\text{útil}}$ = Potencia de accionamiento

Eficiencia total de la bomba

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (4)$$

Donde:

η = eficiencia

P_u = Potencia útil

P_a = Potencia de accionamiento

Sistemas de bombas en serie

Al instalar dos bombas en serie sobre la misma tubería, ambas manejarán el mismo caudal mientras que la cabeza total entregada al fluido equivale a la suma de las cabezas entregadas por cada una en el caudal de operación del sistema en serie.

$$H_T = H_1 + H_2 + H_3 \quad (5)$$

$$Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad (6)$$

Sistema de bombas en paralelo

Al instalar dos bombas en paralelo, ambas bombas entregarán la misma cabeza mientras que el caudal total entregado corresponde a la suma de los caudales entregados por cada una a la cabeza de operación del sistema en paralelo.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (7)$$

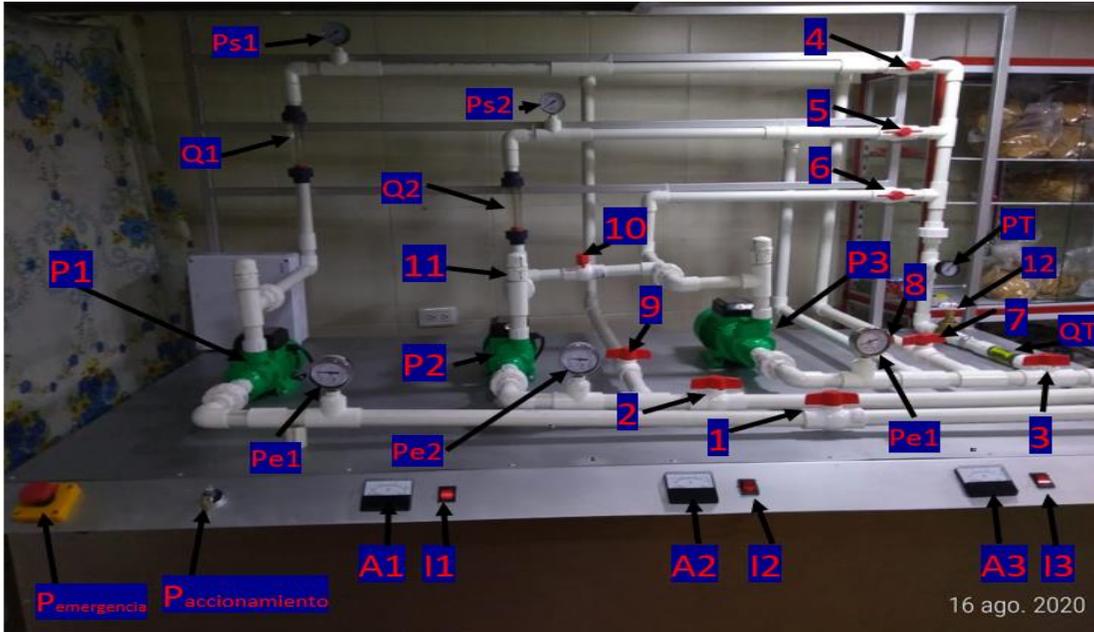
$$H_T = H_1 = H_2 = H_3 \quad (8)$$

2. OBJETIVOS

Obtener de manera experimental las curvas de funcionamiento de las bombas y compararlas contra las curvas teóricas.
Estudiar el comportamiento de las bombas funcionando en serie y paralelo.



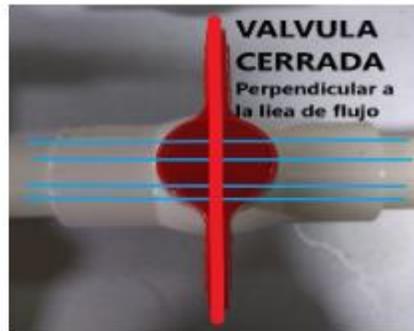
3. ELEMENTOS DEL BANCO



Símbolo	Elemento	Símbolo	Elemento
P1	Bomba 1 (1/2 hp) Barnes BE 1 5-1 HF	Pe3	Mano vacuómetro entrada bomba 3
P2	Bomba 2 (1/2 hp) Barnes BE 1 5-1 HF	Ps1	Manómetro salida bomba 1
P3	Bomba 3 (1 hp) Barnes BE 1 10-1 HF	Ps2	Manómetro salida bomba 1
1	Válvula de entrada bomba 1	Ps3	Manómetro salida bomba 1
2	Válvula de entrada bomba 2	PT	Manómetro total del sistema
3	Válvula de entrada bomba 3	Q1	Caudalímetro bomba 1
4	Válvula de salida bomba 1	Q2	Caudalímetro bomba 2
5	Válvula de salida bomba 2	QT	Caudalímetro total del sistema
6	Válvula de salida bomba 3	A1	Amperímetro bomba 1
7	Válvula de conexión en serie bombas 1 y 3	A2	Amperímetro bomba 2
8	Válvula de conexión en serie bombas 2 y 3	A3	Amperímetro bomba 3
9	Válvula de conexión en serie bombas 1 y 2	11	Interruptor bomba 1
10	Válvula de conexión para caudalímetro Q2	12	Interruptor bomba 2
11	Válvula conexión para caudalímetro Q2	13	Interruptor bomba 3
12	Válvula reguladora de caudal	P emergencia	Paro de emergencia
Pe1	Mano vacuómetro entrada bomba 1	P accionamiento	Llave para el accionamiento eléctrico de las bombas
Pe2	Mano vacuómetro entrada bomba 2		



3.2. Apertura y cierre de las valvulas



4. PROCEDIMIENTO

Al momento de llevar a cabo la práctica de laboratorio lo primero que se debe realizar es solicitar al encargado del laboratorio la llave para habilitar el circuito de accionamiento, así mismo se debe evidenciar que todas las válvulas del banco estén abiertas (con la perilla de accionamiento paralela al tubo de flujo como se muestra en la imagen). Seguido de esto, se debe hacer una inspección visual del banco para verificar que todos sus componentes estén en buen estado físico y que los leds de accionamiento de cada bomba se encuentren energizados.

4.1 Procedimiento para obtener la curva de funcionamiento de la bomba 1

Para llevar a cabo de manera adecuada esta práctica se debe tener en cuenta que las válvulas cerradas son 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11, y las abiertas son 1, 4 y 12. Tenga en cuenta que la válvula 12 es la válvula reguladora de caudal, la cual al inicio se encuentra abierta a $\frac{1}{2}$ vuelta.

Encienda la bomba (1) accionando en interruptor (I1) y deje funcionar durante 2 minutos.

Para empezar la toma de datos se debe manipular la válvula reguladora (12), ajuste el caudal hasta 400 L/h, cuando la medida del caudalímetro arroje este valor inicie la toma de datos y regístrelos en la siguiente tabla.



Tabla de datos – Curva de funcionamiento bomba 1			
Q (L/h) *	Pe (bar)	Ps (bar)	C (A)
400			
500			
667			
833			
1000			
1167			
1333			
1500			
1667			

*Estos valores de caudal corresponden a las divisiones visibles del caudalímetro

4.2 Procedimiento para obtener la curva de funcionamiento de la bomba 2

Para realizar la toma de datos de la bomba 2 realice el mismo procedimiento de la bomba 1 solo que para este caso las válvulas que van a estar cerradas son: 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, y las que deben estar abiertas son 2, 5, 11 y 12. Tenga en cuenta que la válvula 12 se inicia abierta a ½ vuelta.

Tabla de datos – Curva de funcionamiento bomba 2			
Q (L/h) *	Pe (bar)	Ps (bar)	C (A)
400			
500			
667			
833			
1000			
1167			
1333			
1500			
1667			

*Estos valores de caudal corresponden a las divisiones visibles del caudalímetro

4.3 Procedimiento para obtener la curva de funcionamiento de la bomba 3

Para realizar la toma de datos de la bomba 3 realice el mismo procedimiento de la bomba 1 y 2 solo que para este caso las válvulas que van a estar cerradas son: 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, y 11, mientras que deben estar abiertas las válvulas 3, 5, 10 y 12. Tenga en cuenta que la válvula 12 se inicia abierta a ½ vuelta.



Q (L/h) *	Pe (bar)	Ps (bar)	C (A)
400			
500			
667			
833			
1000			
1167			
1333			
1500			
1667			
1833			

*Estos valores de caudal corresponden a las divisiones visibles del caudalímetro

4.4 Procedimiento para obtener la curva de operación de las bombas P1, P2 y P3 en paralelo

Para iniciar la práctica de la configuración P1, P2 y P3 en paralelo se debe tener en cuenta que las válvulas cerradas son: 7, 8, 9, 10 y las válvulas abiertas son: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11 y 12. Tenga en cuenta que la válvula 12 se inicia abierta a $\frac{1}{2}$ vuelta

Se deben encender las tres bombas y dejar funcionar mediante 2 minutos, luego de esto ajuste el caudal a 400 l/h tal y como se realizó en la curva de funcionamiento de la bomba 1 y empiece la toma de datos en la siguiente tabla:

Q1 (L/h)	Q2 (L/h)	QT (LPM)	Pe1 (bar)	Ps1 (bar)	Pe2 (bar)	Ps2 (bar)	Pe3 (bar)	PsT (bar)
400								
500								
667								
833								
1000								
1167								
1333								
1500								

4.5 Procedimiento para obtener la curva de operación de las bombas P1 y P2 en paralelo

Para llevar a cabo esta práctica se realiza del mismo modo que la configuración anterior, solo que para este caso las válvulas que deben estar cerradas son: 3, 6, 7, 8, 9, 10, y las que deben estar abiertas son: 1, 2, 4, 5, 11, 12. Tenga en cuenta que la válvula 12 se inicia abierta a $\frac{1}{2}$ vuelta

Los datos se deben registrar en la siguiente tabla:

Calle 68D Bis A Sur # 49F-70 Bloque 11 Piso 1

PBX 57 (1) 3239300 Ext. 5024 – Bogotá D.C., Colombia

Acreditación Institucional de Alta Calidad. Resolución No. 23096 del 15 de diciembre de 2016

labtecmecanica@udistrital.edu.co



Tabla de datos - Configuración en paralelo bombas 1 y 2							
Q1 (L/h)	Q2 (L/h)	QT (LPM)	Pe1 (bar)	Ps1 (bar)	Pe2 (bar)	Ps2 (bar)	PsT (bar)
400							
500							
667							
833							
1000							
1167							
1333							
1500							

4.6 Procedimiento para obtener la curva de operación de las bombas P1 y P3 en paralelo

Para llevar a cabo esta práctica se realiza del mismo modo que la configuración anterior, solo que para este caso las válvulas que deben estar cerradas son: 2, 6, 7, 8, 9, 11, y las que deben estar abiertas son: 1, 3, 4, 5, 10, 12. Tenga en cuenta que la válvula 12 se inicia abierta a $\frac{1}{2}$ vuelta

Los datos se deben registrar en la siguiente tabla:

Tabla de datos - Configuración en paralelo bombas 1 y 3							
Q1 (L/h)	Q2 (L/h)	QT (LPM)	Pe1 (bar)	Ps1 (bar)	Pe3 (bar)	Ps2 (bar)	PsT (bar)
400							
500							
667							
833							
1000							
1167							
1333							
1500							

4.7 Procedimiento para obtener la curva de operación de las bombas P1, P2 y P3 en serie

Para iniciar la práctica de la configuración P1, P2 y P3 en serie se debe tener en cuenta que las válvulas cerradas son: 2, 3, 4, 5, 7, 10, y las válvulas abiertas son: 1, 6, 8, 9, 11, 12. Tenga en cuenta que la válvula 12 se inicia abierta a $\frac{1}{2}$ vuelta

Se deben encender las tres bombas de manera secuencial y dejar funcionar mediante 2 minutos, luego de esto ajuste el caudal a 400 l/h tal y como se realizó en la curva de funcionamiento de la bomba 1 y empiece la toma de datos en la siguiente tabla:

Tabla de datos - Configuración en serie bombas 1, 2 y 3								
Q1 (L/h)	Q2 (L/h)	QT (LPM)	Pe1 (bar)	Ps1 (bar)	Pe2 (bar)	Ps2 (bar)	Pe3 (bar)	PsT (bar)
400								
500								
667								
833								
1000								
1167								
1333								
1500								
1667								

4.8 Procedimiento para obtener la curva de operación de las bombas P1 y P2 en serie

Para llevar a cabo esta práctica se realiza del mismo modo que la configuración anterior, solo que para este caso las válvulas que deben estar cerradas son: 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10 y las que deben estar abiertas son: 1, 5, 9, 11 y 12. Tenga en cuenta que la válvula 12 se inicia abierta a ½ vuelta

Los datos se deben registrar en la siguiente tabla:

Tabla de datos - Configuración en serie bombas 1 y 2							
Q1 (L/h)	Q2 (L/h)	QT (LPM)	Pe1 (bar)	Ps1 (bar)	Pe2 (bar)	Ps2 (bar)	PsT (bar)
400							
500							
667							
833							
1000							
1167							
1333							
1500							
1667							

4.9 Procedimiento para obtener la curva de operación de las bombas P1 y P3 en serie

Para llevar a cabo esta práctica se realiza del mismo modo que la configuración anterior, solo que para este caso las válvulas que deben estar cerradas son: 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, y las que deben estar abiertas son: 1, 7, 6, 12. Tenga en cuenta que la válvula 12 se inicia abierta a $\frac{1}{2}$ vuelta

Los datos se deben registrar en la siguiente tabla:

Tabla de datos - Configuración en serie bombas 1 y 3					
Q1 (L/h)	QT (LPM)	Pe1 (bar)	Ps1 (bar)	Pe3 (bar)	PsT (bar)
400					
500					
667					
833					
1000					
1167					
1333					
1500					
1667					

5. ACTIVIDADES

1. Elabore las curvas experimentales cabeza vs caudal de cada bomba, y compárelas con las curvas de catálogo.
2. Elabore las curvas potencia vs caudal y eficiencia vs caudal para cada bomba.
3. Elabore las curvas experimentales cabeza vs caudal de los sistemas en serie y compárelas con lo que se obtendría teóricamente a partir de las curvas del punto 1.
4. Elabore las curvas experimentales cabeza vs caudal de los sistemas en paralelo y compárelas con lo que se obtendría teóricamente a partir de las curvas del punto 1.

6. RECOMENDACIONES

Verificar antes de cada prueba el estado de las valvulas, ya que si alguna de estas se encuentra en el sentido contrario a lo recomendado en esta guia se pueden presentar errores en la toma de datos o en el daño de alguno de los componentes del banco.

Verificar bien las unidades y la escala de los instrumentos de medida, ya que de esto depende el éxito de la practica.

Solamente encender las bombas necesarias para cada práctica.

Al finalizar todas las configuraciones apagar las bombas y cerrar la llave de accionamiento, quitarla y entregársela a la persona encargada del laboratorio.