



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Facultad de Ingeniería



GEA
Grupo Energía Alternativa

Laboratorio

Bombas centrífugas

Por: Manuel Alejandro Ortiz Lombana

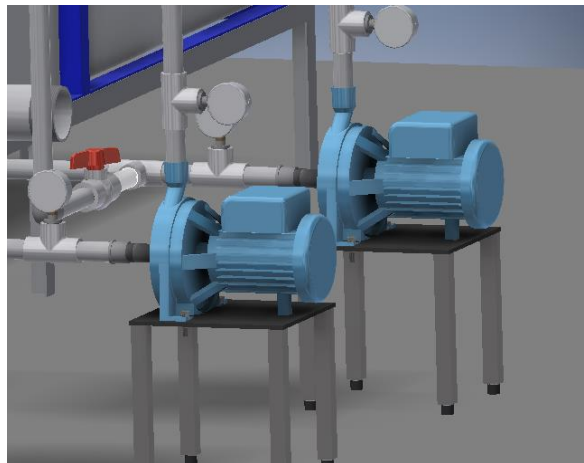
Laboratorio N° 8

Turbomáquinas

I. OBJETIVOS

1. Elaborar las tres curvas características de una Bomba Centrífuga: curva de altura, curva de eficiencia y curva de potencia de frenado; las tres en función del caudal.
2. Elaborar la curva característica de dos bombas operando en serie.
3. Elaborar la curva característica de dos bombas operando en paralelo.

II. MATERIALES



Para realizar las mediciones se utilizarán los siguientes materiales:

- Vernier o Flexómetro.
- Tacómetro.
- Bombas centrífugas.
- Medidor de caudal.
- Manómetros.
- Cronómetro.

III. MARCO TEÓRICO

El rendimiento de una bomba está dado por la carga hidrostática neta (H), que puede ser determinada por el teorema de Bernoulli, que es una forma de expresión de la ley de conservación de la energía para el flujo de fluidos en un conducto, y permite hallar la carga hidrostática de Bernoulli. Esta ecuación es un balance energético entre dos secciones de flujo en un conducto. Se refiere a que la energía en la entrada y salida de una tubería debe mantenerse constante, es decir:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_a = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_b = C$$

Donde:

γ : Es el peso específico ($\gamma = \rho \times g$).

g : Es la aceleración de la gravedad = $9,81 \frac{m^2}{s}$

P : Es la presión en el punto en consideración.

Z : Es la altura desde una cota de referencia.

h : Se refiere a las pérdidas de carga en la tubería.

Así pues, la Carga Hidrostática (H_{pump}), si se despejan las cargas, sería hallada con la nueva ecuación.

$$H_{pump} = \left(\frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \right) - \left(\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

La construcción de la curva de altura contra caudal se realiza con la fórmula anterior variando el valor del caudal y midiendo los valores de la presión a la entrada y salida de cada bomba.

La potencia entregada por la bomba al fluido es,

$$P = \gamma Q H_{pump}$$

Donde:

P =Potencia hidráulica suministrada por la bomba al fluido [W]

Q = Caudal volumétrico [m³/s]

γ = Peso específico del fluido [N/m³]

H_{pump} = Cabeza total entregada por la bomba [mca]

la eficiencia de una bomba es la relación entre la potencia hidráulica dada por la bomba al fluido y la potencia consumida por el motor de la bomba.

$$\eta = \frac{\text{Potencia}}{\text{Potencia}_{elc}} \times 100 \%$$

Las presiones en la entrada de una bomba pueden llegar a ser muy pequeñas o en algunos casos negativas (presión de succión). Es posible, entonces, alcanzar la presión de vapor del fluido a la entrada de la bomba causando la formación de burbujas de vapor. Dichas burbujas viajan a zonas de mayor presión dentro de la bomba e implotan generando una onda de choque causando vibraciones y desgastes en las partes internas de la bomba como el rotor y/o la carcasa. El fenómeno descrito se conoce como Cavitación.

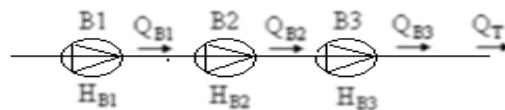
Para que el fenómeno de cavitación no se presente en la bomba, es esencial que el valor de la presión en el lado de succión sea mayor que la presión de vapor del fluido. La Cabeza Neta de Succión Positiva (NPSH) mide la posibilidad de cavitación en la bomba.

Los fabricantes de bombas proporcionan datos acerca del NPSH que se requiere para una operación satisfactoria (NPSH requerida), y es necesario que el NPSH disponible en el sistema de bombeo (NPSH disponible) sea mayor que el requerido para evitar la cavitación.

El NPSH disponible depende de la naturaleza del fluido, de las condiciones de operación (temperatura y presión atmosférica) y de la tubería de succión. Se calcula de la siguiente manera:

$$(NPSH)_{Disponible} = \left(\frac{P}{\gamma} - \frac{V^2}{2g} \right)_{Succión} - \frac{P_{vapor}}{\gamma}$$

La conexión en serie de dos o más bombas genera un aumento de la presión total del sistema. Para conectar dos o más bombas en serie se debe tener una tubería de succión proveniente directamente de la fuente y la salida de la primera bomba se conecta a la entrada de la siguiente bomba, y así sucesivamente si se tienen más bombas.

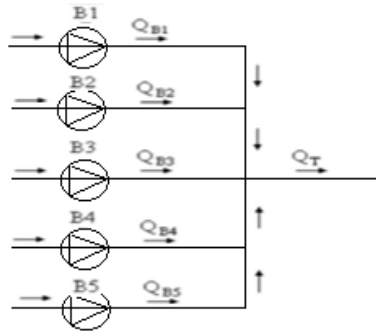


$$Q_T = Q_{conjunto} = Q_{B1} = Q_{B2} = Q_{B3}$$

$$H_{BT} = H_{B1} + H_{B2} + H_{B3} = \text{Cabeza Total}$$

Cuando las tuberías se conectan en serie la razón de flujo a través del sistema se conserva, sin importar los diámetros de esta. Esto se debe a la ley de conservación de masa para flujos en estado permanente. En esta configuración la pérdida total es igual a la suma de las pérdidas parciales en los diferentes segmentos de la tubería.

La conexión de bombas en paralelo genera un incremento en el caudal elevado, sin aumentar la presión. Para realizar la conexión, cada bomba debe tener una tubería de succión proveniente directamente de la fuente y todas las salidas de las bombas se conectan a una sola salida común.



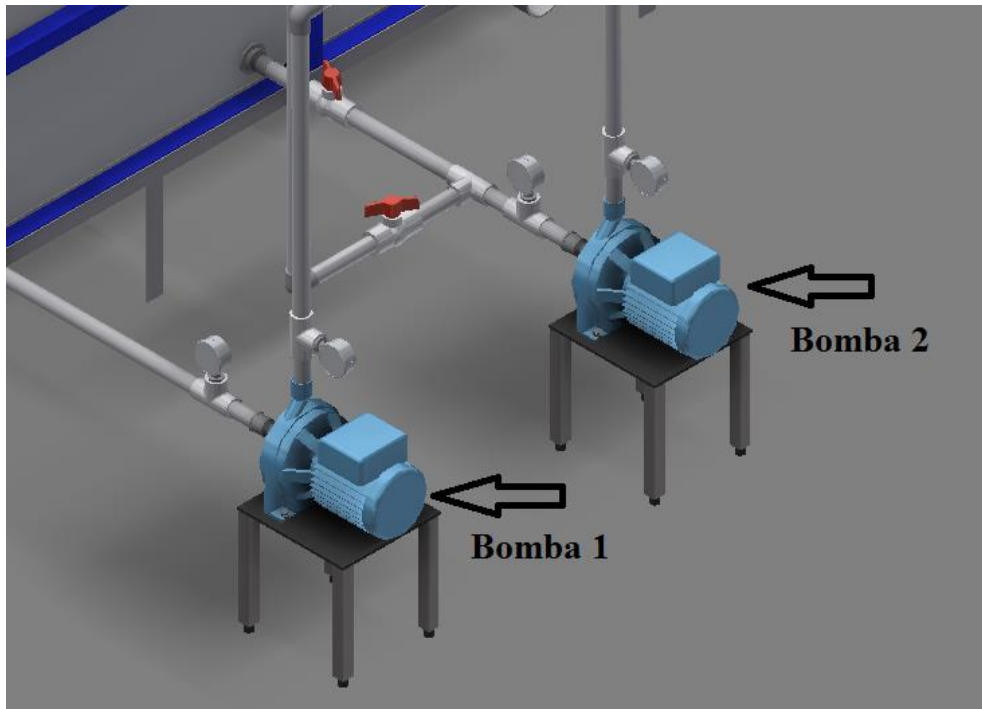
$$Q_T = Q_{conjunto} = Q_{B1} + Q_{B2} + Q_{B3} + Q_{B4} + Q_{B5}$$

$$H_{BT} = H_{B1} = H_{B2} = H_{B3} = H_{B4} = H_{B5} = \text{Cabeza Total}$$

En esta configuración el caudal total se reparte en los diferentes segmentos del sistema de tuberías.

IV. PROCEDIMIENTO

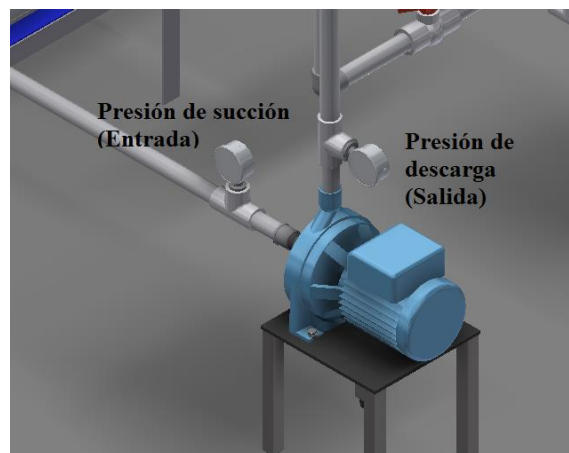
En el sistema de bombeo del laboratorio se encuentran 2 bombas, que impulsan agua desde un tanque de almacenamiento y la hace circular por todo el sistema de tuberías del laboratorio hasta verterla de nuevo al mismo tanque.



Encender únicamente una de las bombas. Garantizar que todo el caudal pase ÚNICAMENTE por la bomba encendida. Durante el experimento la velocidad de rotación de la bomba DEBE SER CONSTANTE. Seleccionar un valor cercano a 3450 rpm. El primer caudal debe ser cero.

Medir las siguientes variables para 8 caudales:

- La presión de succión (entrada) y la presión de descarga (salida).



- El voltaje de fase del motor, la corriente de línea del motor. Si se encuentra disponible el sensor, medir el torque.



Para la medición de la velocidad de rotación de las bombas, utilizar el tacómetro disponible en el laboratorio.



Para la medición del flujo de agua utilice el medidor de caudal de agua que se encuentra al final del sistema de tuberías.



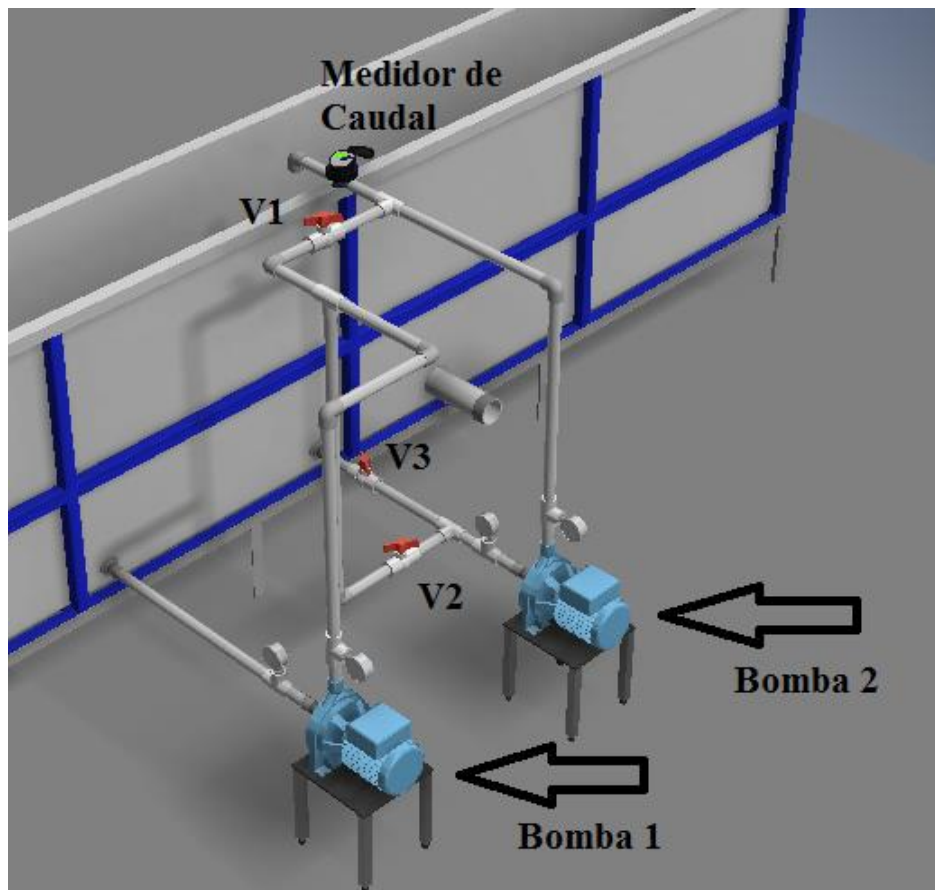
Utilizando el cronómetro, cuente cuánto tiempo tarda la aguja del medidor en dar una vuelta y utilizando la definición de caudal (Volumen/tiempo) realice el cálculo para conocer el flujo de agua que pasa por el medidor.

Apagar la bomba y encender la siguiente. El caudal debe pasar **UNICAMENTE** por la nueva bomba. La tubería debe estar cerrada para las otras bombas. Durante el experimento la velocidad de rotación de la bomba **DEBE SER CONSTANTE**. Seleccionar un valor cercano a 3450 rpm.

Medir las siguientes variables para 8 caudales diferentes:

- La presión de succión (entrada) y la presión de descarga (salida), el voltaje de fase del motor, la corriente de línea del motor y la velocidad de rotación.

Bombas en SERIE



Encender la bomba 1, cerrar las válvulas 1 y 3, y mantener la válvula 2 abierta. Verifique que se encuentren operando en serie. (La descarga de la bomba 1 debe ser la succión de la bomba 2). Por último, encienda la bomba 2. Las dos bombas **DEBEN OPERAR A LA MISMA** velocidad de rotación. Seleccione un valor cercano a 3450 rpm.

Medir las siguientes variables para 8 caudales:

- La presión de succión y la presión de descarga para caudales similares a los medidos en la primera parte de la práctica, el voltaje de fase y la corriente de línea de ambos motores y las velocidades de rotación.

Bombas en Paralelo

Abrir las válvulas 1 y 3. Encender ambas bombas y mantener la válvula 2 cerrada. Las dos bombas DEBEN OPERAR A LA MISMA velocidad de rotación. Seleccione un valor cercano a 3450 rpm.

Medir las siguientes variables para 8 caudales:

- La presión de succión y la presión de descarga para caudales similares a los medidos en la primera parte de la práctica, el voltaje de fase y la corriente de línea de ambos motores y las velocidades de rotación.

Parámetros geométricos requeridos para todas las mediciones:

Medir el diámetro de la tubería de succión (entrada) y descarga (salida) de las bombas y la diferencia de altura entre los puntos de succión y descarga. (Recuerde la diferencia entre diámetro interior, exterior y nominal, en tuberías)

Nota:

- Recuerde registrar el valor del factor de potencia ($\cos \varphi$) del motor para cada bomba para el posterior cálculo de la potencia eléctrica.

V. DATOS EXPERIMENTALES

Bomba 1							
Caudal (m ³ /s)							
Presión de succión (kPa)							
Presión de descarga (kPa)							
Corriente (A)							
Voltaje (V)							

Diámetro Succión (m)	
Diámetro descarga (m)	
Diferencia de altura (m)	
Factor de potencia	

Tabla 1. Tablas para la toma de datos experimentales para Bomba 1 (operando de manera individual).

Bomba 2								
Caudal (m ³ /s)								
Presión de succión (kPa)								
Presión de descarga (kPa)								
Corriente (A)								
Voltaje (V)								

Diámetro Succión (m)	
Diámetro descarga (m)	
Diferencia de altura (m)	
Factor de potencia	

Tabla 2. Tablas para la toma de datos experimentales para Bomba 2 (operando de manera individual).

Bombas 1 + 2								
Caudal (m ³ /s)								
Presión de succión (kPa)								
Presión de descarga (kPa)								
Corriente bomba A (A)								
Voltaje bomba A (V)								
Corriente bomba B (A)								
Voltaje bomba B (V)								

Tabla 3. Tabla para la toma de datos experimentales para bombas en serie.

Bombas 1 2								
Caudal (m ³ /s)								
Presión de succión A (kPa)								
Presión de descarga A (kPa)								
Presión de succión B (kPa)								
Presión de descarga B (kPa)								

Corriente bomba A (A)								
Voltaje bomba A (V)								
Corriente bomba B (A)								
Voltaje bomba B (V)								

Tabla 4. Tabla para la toma de datos experimentales para bombas en paralelo.

VI. INFORME DE LABORATORIO

Para la Bomba 1 y 2 trabajando de manera individual:

1. Aplicar la ecuación de conservación de energía entre la entrada y la salida de la bomba y calcular la altura y la potencia que entrega la bomba al sistema en cada caudal.
2. Calcular para cada caudal la potencia eléctrica entregada por el motor a la bomba.
3. Con la potencia entregada al sistema (punto 1) y la potencia entregada a la bomba (punto 2) calcular para cada caudal la eficiencia de la bomba.
4. Realizar una gráfica de la altura de la bomba, la potencia eléctrica y la eficiencia como función del caudal.

Para las Bomba A y Bomba B trabajando en serie:

Cuando operan dos bombas en serie el caudal que pasa por ambas es igual, pero la altura del sistema de bombeo es igual a la suma a la suma de la altura de cada bomba.

5. Graficar las curvas de ambas bombas operando en serie usando las curvas de las Bombas 1 y 2 encontradas en los apartados anteriores. Para sumar las curvas ambas bombas deben operar a la misma velocidad angular. Use las leyes de semejanza para convertir el caudal y la cabeza.
6. Compare las curvas encontrada en el punto anterior con la curva calculada usando la ecuación de la energía entre la succión de la bomba 1 y la descarga de la bomba 2.

Para las Bomba A y Bomba B trabajando en paralelo:

Cuando operan dos bombas en paralelo el caudal total se distribuye en las 2 bombas, y la altura del sistema de bombeo es igual a la altura de cada bomba.

7. Graficar las curvas de ambas bombas operando en paralelo usando las curvas de las Bombas 1 y 2 encontradas en los apartados anteriores. Para ello, las curvas de ambas bombas deben operar a la misma velocidad angular. Use las ecuaciones del marco teórico para lograrlo.
8. Compare la curva encontrada en el punto anterior con la curva calculada usando la ecuación de la energía entre la succión de la bomba 1 y la descarga de la bomba 2.