

Laboratorio de Mecánica de Fluidos

SIMILITUD EN BOMBAS CENTRÍFUGAS: BOMBAS HOMÓLOGAS

17-01-2023, II Término 2022- 2023

Angel Miguel Boza Carriel

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP)

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Guayaquil – Ecuador

angmboza@espol.edu.ec

RESULTADOS

Datos de la práctica				
Bomba N-1 2500 RPM	Caudal [l/s]	H _a [m]	H _d [m]	Fuerza Torque [N]
	1,20	-1,00	20,00	5,80
	1,10	-1,00	20,00	4,80
	1,00	-1,00	20,00	5,80
	0,80	-1,00	20,00	5,90
	0,60	-0,50	20,00	6,80
	0,40	-0,50	18,00	7,00
	0,20	-0,50	15,00	7,80

Tabla 1. Datos obtenidos para la Bomba N-1 (Prototipo).

Datos de la práctica				
Bomba N-2 3000 RPM	Caudal [l/s]	H _a [m]	H _d [m]	Fuerza Torque [N]
	1,70	-1,00	5,00	7,00
	1,60	-1,50	6,00	5,00
	1,40	-1,50	10,00	3,00
	1,20	-1,50	12,00	2,80
	1,00	-1,50	13,00	1,00
	0,80	-1,25	14,00	0,50
	0,60	-1,25	14,50	0,30
0,40	-1,25	15,00	0,10	

Tabla 2. Datos obtenidos para la Bomba N-2 (Modelo).

Datos de la práctica	
Densidad [kg/m ³]	998
Gravedad [m/s ²]	9,8
Diámetro B.N-1 [mm]	140
Diámetro B.N-2 [mm]	101

Tabla 3. Datos dados por el docente.

Ejemplo de cálculo

Un dato importante para considerar de la práctica es que, los caudales máximos para ambas bombas utilizadas en la práctica son los siguientes:

- Bomba N-1 (Prototipo)
 - $Q = 1,02 \frac{l}{s} \cong 1,02 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$, sin embargo, por fines prácticos, se utilizó como caudal máximo a 1,2 l/s.
- Bomba N-2 (Modelo)
 - $Q = 1,7 \frac{l}{s} \cong 1,7 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$

Recalcando que, dichos caudales máximos no se utilizaron debido a que había presencia de cavitación en el sistema a utilizar.

El primer cálculo para realizar durante la práctica es el del cabezal total, es decir H_t , el cual es la diferencia entre el cabezal de descarga y el cabezal de succión, denotado de la siguiente manera:

- **Cálculo de cabezal total**

- Bomba N-1

$$H_t = H_{descarga} - H_{succión}$$

$$H_t = 20 - (-1) [mca]$$

$$\mathbf{H_t = 21 [mca]}$$

- Bomba N-2

$$H_t = H_{descarga} - H_{succión}$$

$$H_t = 5 - (-1)$$

$$\mathbf{H_t = 6 [mca]}$$

Posteriormente, se procede a calcular la potencia hidráulica generada, sin embargo, como los datos de caudal tomados de la práctica se encuentran en l/s, es necesario realizar la conversión pertinente al Sistema Internacional:

- **Potencia Hidráulica**

- Bomba N-1

$$P_w = \rho * Q * g * H_t$$

$$P_w = (998) * \left(\frac{1,2}{1000}\right) * (9.8) * (21)$$

$$P_w = 246,47 \text{ [Watts]}$$

- Bomba N-2

$$P_w = \rho * Q * g * H_t$$

$$P_w = (998) * \left(\frac{1,7}{1000}\right) * (9.8) * (6)$$

$$P_w = 99,76 \text{ [Watts]}$$

Se procede también a calcular la potencia ejercida por el freno en el eje, este cálculo involucra la velocidad angular que posee cada bomba, por lo tanto, como su fórmula ya se encuentra establecida, es necesario realizar la conversión de rpm a rad/s, además que interviene también el torque, el cual es la distancia del brazo de palanca (0.165m) multiplicado por la fuerza que produce el torque, de la siguiente forma:

- **Potencia al freno en el eje:**

- Bomba N-1

$$P_w = \frac{2 * \pi * N(0.165 * F)}{60}$$

$$P_w = \frac{2 * \pi * 2500 * (0.165 * 5,8)}{60}$$

$$P_w = 250.54 \text{ [Watts]}$$

- Bomba N-2

$$P_w = \frac{2 * \pi * N(0.165 * F)}{60}$$

$$P_w = \frac{2 * \pi * 3000 * (0.165 * 7)}{60}$$

$$P_w = 362.85 \text{ [Watts]}$$

Una vez se haya calculado ambos valores de potencia para cada bomba respectivamente, se procede a hallar la eficiencia de la bomba utilizada, mediante la relación entre la potencia hidráulica y la potencia del freno.

- **Eficiencia de la bomba**

- Bomba N-1

$$\eta = \frac{P_w}{P_m}$$

$$\eta = \frac{246.47}{250.54}$$

$$\eta = 0.98$$

- Bomba N-2

$$\eta = \frac{P_w}{P_m}$$

$$\eta = \frac{99.76}{362.85}$$

$$\eta = 0.27$$

Una vez calculados todos los valores de las variables necesarias, se procede a realizar el cálculo de los grupos adimensionales para cada una de las bombas, donde también es necesaria la conversión de la velocidad angular de cada bomba a rad/s, por lo tanto, para fines prácticos, se lo convierte de forma externa y obtenemos 261.80 rad/s y 314.16 rad/s, respectivamente para cada bomba.

- **Grupos adimensionales**

- Bomba N-1

- πQ

$$\pi Q = \frac{Q}{ND^3}$$

$$\pi Q = \frac{1.2 \times 10^{-3}}{(261.80) \left(\frac{140}{1000}\right)^3}$$

$$\pi Q = 1.67 \times 10^{-03}$$

- πH

$$\pi H = \frac{H_t * g}{(ND)^2}$$

$$\pi H = \frac{21 * 9.8}{\left(261.80 * \left(\frac{140}{1000}\right)\right)^2}$$

$$\pi H = 1.53 \times 10^{-1}$$

- πP

$$\pi P = \frac{P_w}{\rho * N^3 * D^5}$$

$$\pi P = \frac{246.47}{998 * 261.80^3 * \left(\frac{140}{1000}\right)^5}$$

$$\pi P = 2.56 \times 10^{-4}$$

- $\pi \eta$

$$\pi \eta = \frac{\pi Q * \pi H}{\pi P}$$

$$\pi \eta = \frac{(1.67 \times 10^{-3})(1.53 \times 10^{-1})}{(2.56 \times 10^{-4})}$$

$$\pi \eta = 1$$

- Bomba N-2

- πQ

$$\pi Q = \frac{Q}{ND^3}$$

$$\pi Q = \frac{1.7 \times 10^{-3}}{(314.16) \left(\frac{101}{1000}\right)^3}$$

$$\pi Q = 5.25 \times 10^{-3}$$

- πH

$$\pi H = \frac{H_t * g}{(ND)^2}$$

$$\pi H = \frac{6 * 9.8}{\left(314.16 * \left(\frac{101}{1000}\right)\right)^2}$$

$$\pi H = 5.84 \times 10^{-2}$$

- πP

$$\pi P = \frac{P_w}{\rho * N^3 * D^5}$$

$$\pi P = \frac{99.76}{998 * (314.16)^3 * \left(\frac{101}{1000}\right)^5}$$

$$\pi P = 3.07 \times 10^{-4}$$

- $\pi \eta$

$$\pi \eta = \frac{\pi Q * \pi H}{\pi P}$$

$$\pi \eta = \frac{(5.25 \times 10^{-3})(5.84 \times 10^{-2})}{(3.07 \times 10^{-4})}$$

$$\pi \eta = 1$$

Cálculos				
Bomba N-1 2500 RPM	Ht [m]	Pw [Watts]	Pm [Watts]	n
	21,00	246,47	250,54	0,98
	21,00	225,93	207,35	1,09
	21,00	205,39	250,54	0,82
	21,00	164,31	254,86	0,64
	20,50	120,30	293,74	0,41
	18,50	72,37	302,38	0,24
	15,50	30,32	336,94	0,09

Tabla 4. Resultados obtenidos para la Bomba N-1 (Prototipo).

El resto de las tablas correspondientes a los resultados obtenidos pueden ser visualizadas en el Anexo A.

Gráficas

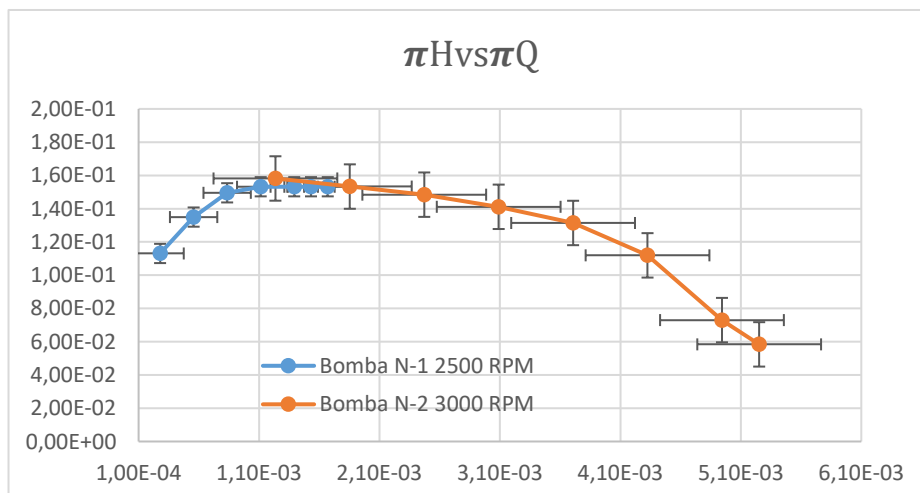


Figura 1. Curvas adimensionales πH vs πQ para cada bomba.

Con relación a las gráficas, estas deben ser hechas entre los grupos adimensionales, es decir, los tres grupos adimensionales (π_H , π_P , π_η) calculados vs π_Q , con el objetivo de comparar las curvas obtenidas para cada bomba correspondiente, un ejemplo de lo mencionado es la Figura 1. presentada.

Bomba N-1 2500 RPM		Bomba N-2 3000 RPM	
$\pi_H (\times 10^{-1})$	$\pi_Q (\times 10^{-3} - \times 10^{-4})$	$\pi_H (\times 10^{-2} - \times 10^{-1})$	$\pi_Q (\times 10^{-3})$
1,53	1,67	5,84	5,25
1,53	1,53	7,30	4,94
1,53	1,39	1,12	4,33
1,53	1,11	1,31	3,71
1,50	8,35	1,41	3,09
1,35	5,57	1,48	2,47
1,13	2,78E	1,53	1,85
		1,58	1,24

Tabla 5. Datos utilizados para la Figura 1.

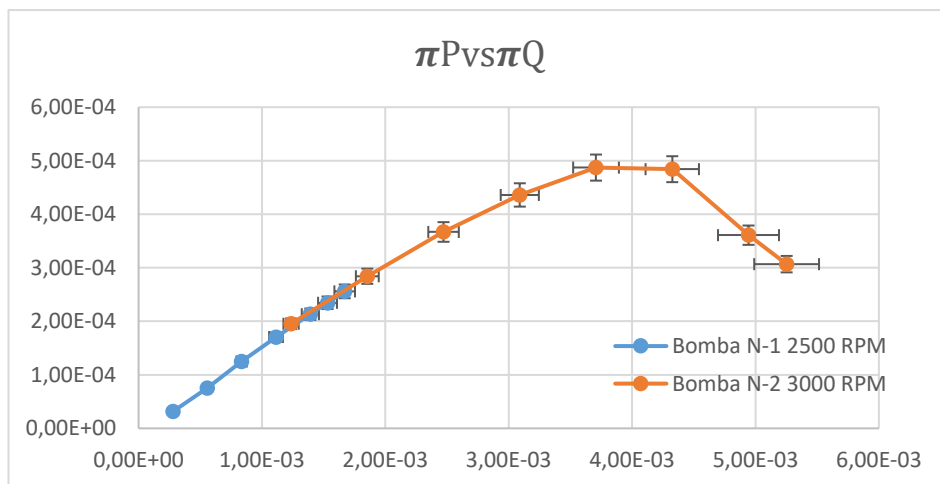


Figura 2. Gráfica π_P vs π_Q para ambas bombas.

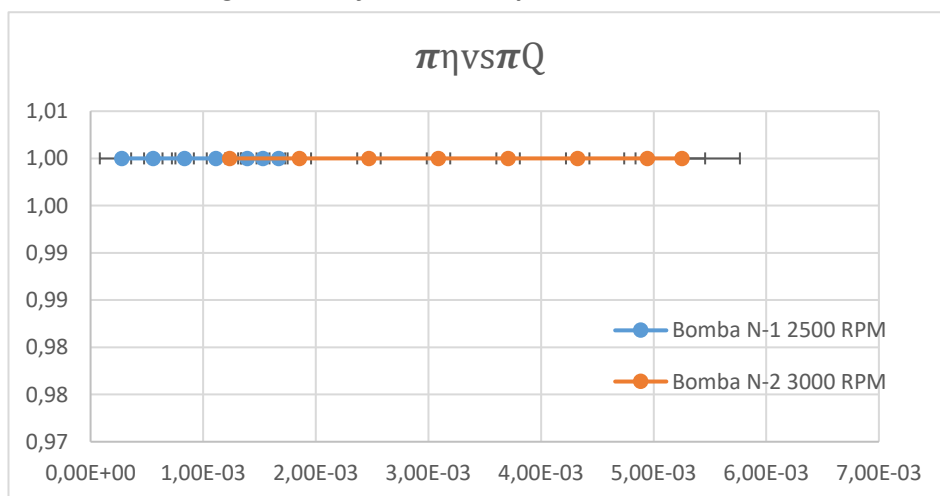


Figura 3. Gráfica π_η vs π_Q para ambas bombas.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con respecto a los resultados obtenidos para la Bomba N-1, se puede denotar que a medida que el caudal disminuye, la potencia ejercida por el freno en el eje (P_m) aumentará constantemente, sin embargo, la potencia hidráulica (P_w) disminuirá su valor, produciendo que la eficiencia de la bomba sea también menor a medida que el caudal disminuya, debido a que la eficiencia se encuentra en función de la relación de ambas potencias. Además, realizando el análisis pertinente para la misma bomba, se puede denotar una similitud a lo mencionado, debido a que valores bajos de caudal, producen valores bajos en los grupos adimensionales, exceptuando a $\pi\eta$.

Las eficiencias obtenidas para la Bomba N-2 son mayores en relación con valores bajos de caudal, lo que indica que existe una máxima eficiencia en dichos valores, debido a que la bomba da mucha presión a en caudales bajos, siendo el punto que se considera más inestable de todo el sistema analizado. (*Inoxmim, 2021*)

Con relación a los grupos adimensionales obtenidos para cada bomba, se obtuvo que para $\pi\eta$, los valores son los mismos para cada una, el cual fue de 1, lo que nos indica que la relación entre los grupos adimensionales de Caudal y Pérdida con el de Potencia, es exacto para cada bomba, sin embargo, no se esperaba dicho resultado, debido a que se creía que, para realizar la comparación necesaria de curva adimensional, esta tendría un comportamiento creciente, casi como exponencial, lo que podría indicar que existe una propagación de error elevada.

Existieron algunos factores que pueden haber creado una discrepancia mayor en la toma de datos durante el desarrollo de la práctica, es decir, que pueden generar una propagación de error elevada, uno de ellos fue la toma de velocidad angular mediante el aparato necesario, ya que no se pudo replicar exactamente la medida a analizar (2500 y 3000 RPM, respectivamente), en cada toma de datos se utilizaron valores cercanos a los mismos, además, otro factor a considerar es que la fuerza medida en el dinamómetro también puede ser considerado como un error aleatorio, debido a que deja el valor de la fuerza a consideración de la persona que visualiza el valor, aumentando el error de la medida.

CONCLUSIONES

- Se comprobó que la utilización del teorema de Pi-Buckingham en bombas centrífugas es un método más simple para poder realizar los cálculos necesarios sin la necesidad de tener que realizar numerosos cálculos, para luego poder comparar dichos resultados de los grupos adimensionales y denotar si sí se trata de bombas homólogas.
- Se concluye que las bombas no son homólogas, debido a que las curvas adimensionales pertenecientes a cada grupo adimensional no poseen el mismo comportamiento con respecto a ambas bombas.
- La toma incorrecta de datos durante la práctica puede generar una propagación de error elevada, tener cuidado con la interpretación de los datos que se tomen, ya sea de la fuerza ejercida por el torque (el cual es una medición realizada mediante la vista) y tratar de que la velocidad angular de cada bomba sea lo más cercano posible al valor requerido, si no se puede alcanzar dicho valor exacto.
- Las bombas centrífugas utilizadas en esta práctica sí tienen contrapresión, por lo tanto, no siempre funcionan con el caudal máximo que vendría a ser el punto donde existe menos resistencia, dato que puede ser corroborado al no haber utilizado los caudales máximos debido a la cavitación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Inoxmim. (2021). *Datos interesantes acerca de los sistemas de bombeo y las bombas centrífugas*. España.
- Munson, Y. y. (2020). *Fundamentals of Fluid Mechanics* (Octava ed.). (L. Ratts, Ed.) Wiley.

ANEXOS

Anexo A

Cálculos				
Bomba N-2 3000 RPM	Ht [m]	Pw [Watts]	Pm [Watts]	n
	6,00	99,76	362,85	0,27
	7,50	117,36	259,18	0,45
	11,50	157,46	155,51	1,01
	13,50	158,44	145,14	1,09
	14,50	141,82	51,84	2,74
	15,25	119,32	25,92	4,60
	15,75	92,42	15,55	5,94
	16,25	63,57	5,18	12,26

Tabla 6. Resultados obtenidos para la Bomba N-2 (Modelo).

Grupos adimensionales				
Bomba N-1 2500 RPM	$\pi Q (x10^{-3} - x10^{-4})$	$\pi H (x10^{-1})$	$\pi P (x10^{-4} - x10^{-5})$	πN
	1,67	1,53	2,56	1,00
	1,53	1,53	2,35	1,00
	1,39	1,53	2,13	1,00
	1,11	1,53	1,71	1,00
	8,35	1,50	1,25	1,00
	5,57	1,35	7,51	1,00
	2,78	1,13	3,15	1,00

Tabla 7. Grupos adimensionales para la Bomba N-1 (Prototipo).

Grupos adimensionales				
Bomba N-2 3000 RPM	$\pi Q (x10^{-3})$	$\pi H (x10^{-1} - x10^{-2})$	$\pi P (x10^{-4})$	πN
	5,25	5,84	3,07	1,00
	4,94	7,30	3,61	1,00
	4,33	1,12	4,84	1,00
	3,71	1,31	4,87	1,00
	3,09	1,41	4,36	1,00
	2,47	1,48	3,67	1,00
	1,85	1,53	2,84	1,00
	1,24	1,58	1,95	1,00

Tabla 8. Grupos adimensionales para la Bomba N-2 (Modelo).

Bomba N-1 2500 RPM		Bomba N-2 3000 RPM	
$\pi P (\times 10^{-4} - \times 10^{-5})$	$\pi Q (\times 10^{-3} - \times 10^{-4})$	$\pi P (\times 10^{-4})$	$\pi Q (\times 10^{-3})$
2,56	1,67	3,07	5,25
2,35	1,53	3,61	4,94
2,13	1,39	4,84	4,33
1,71	1,11	4,87	3,71
1,25	8,35	4,36	3,09
7,51	5,57	3,67	2,47
3,15	2,78	2,84	1,85
		1,95	1,24

Tabla 9. Datos utilizados para la figura 2.

Bomba N-1 2500 RPM		Bomba N-2 3000 RPM	
πN	$\pi Q (\times 10^{-3} - \times 10^{-4})$	πN	$\pi Q (\times 10^{-3})$
1,00	1,67	1,00	5,25
1,00	1,53	1,00	4,94
1,00	1,39	1,00	4,33
1,00	1,11	1,00	3,71
1,00	8,35	1,00	3,09
1,00	5,57	1,00	2,47
1,00	2,78	1,00	1,85
		1,00	1,24

Tabla 10. Datos utilizados para la figura 3.