

ASSOCIAÇÃO DE BOMBAS**1. OBJETIVOS****1.1. Objetivo geral**

Conhecer quando utilizar e como realizar a Associação de bombas em série e em paralelo.

1.1. Objetivo específico

Obter as curvas características de bombas associadas em série e posteriormente operando em paralelo.

2. INTRODUÇÃO TEÓRICA**2.1. Bomba**

Uma bomba é uma máquina hidráulica operatriz que fornece energia ao líquido com a finalidade de transportá-lo de um ponto a outro. Normalmente recebem energia mecânica e a transformam em energia cinética e de pressão ou em ambos. Quando o fluido é impulsionado pelas pás de um rotor, são chamadas de turbobombas, e quando o fluido é impulsionado pela diminuição do volume numa câmara ou passagem são chamadas de volumétricas ou de deslocamento positivo.

2.1 Altura útil de uma bomba (H)

A altura útil de elevação ou altura manométrica de uma bomba é a energia por unidade de peso que o líquido adquire em sua passagem pela bomba. Seu valor é calculado aplicando-se a equação de conservação de energia entre a entrada e saída da bomba.

$$H = \frac{P_r - P_s}{\gamma} \quad (1)$$

P_r : Pressão de recalque da bomba [Pa]

P_s : Pressão da sucção da bomba [Pa]

2.2. Associação em série

Quando a altura disponível do sistema de bombeio é maior que a altura manométrica proporcionado pela bomba, devemos estudar a possibilidade de utilização de bombas em série. Neste caso, a descarga de cada bomba é conectada à sucção da seguinte (ver Figuras 1), de modo que a vazão será a mesma em cada uma das bombas, enquanto que a pressão de descarga desenvolvida (altura manométrica) será a soma de cada uma das unidades.

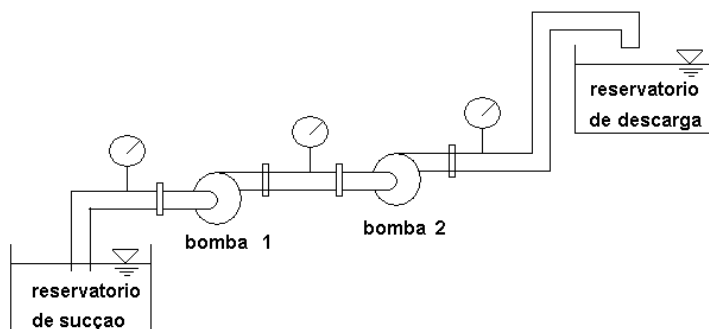


Figura 1 .Associação de duas bombas em série

2.2.1. Curva característica do conjunto em série

A curva característica do conjunto de bombas associadas em série é obtida a partir das curvas de cada uma das bombas, somando-se as alturas manométricas correspondentes aos mesmos valores de vazão, conforme vemos nas Figuras 2 e 3. Assim sendo, cada bomba contribui com parcelas diferentes para a obtenção da altura manométrica total na vazão de operação ($H_{total} = H_1 + H_2$). No caso particular de bombas iguais associadas em série, a solução é simplificada, pois, cada bomba deverá ofertar uma carga (H).

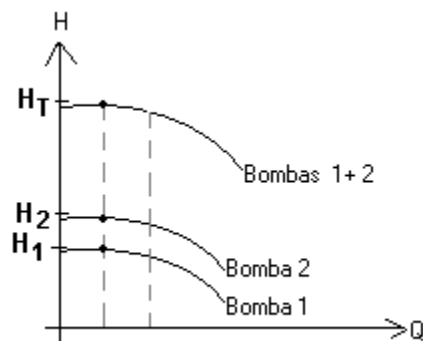


Figura 2. Curva de associação em serie de bombas diferentes.

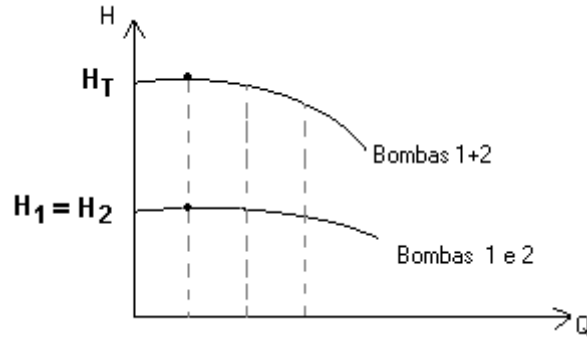


Figura 3. Curva de associação em serie de bombas iguais.

$$H_{01} = H_{02} = H_{03}$$

$$y H_0 = H_{01} + H_{02} + H_{03} = 3 H_{01}$$

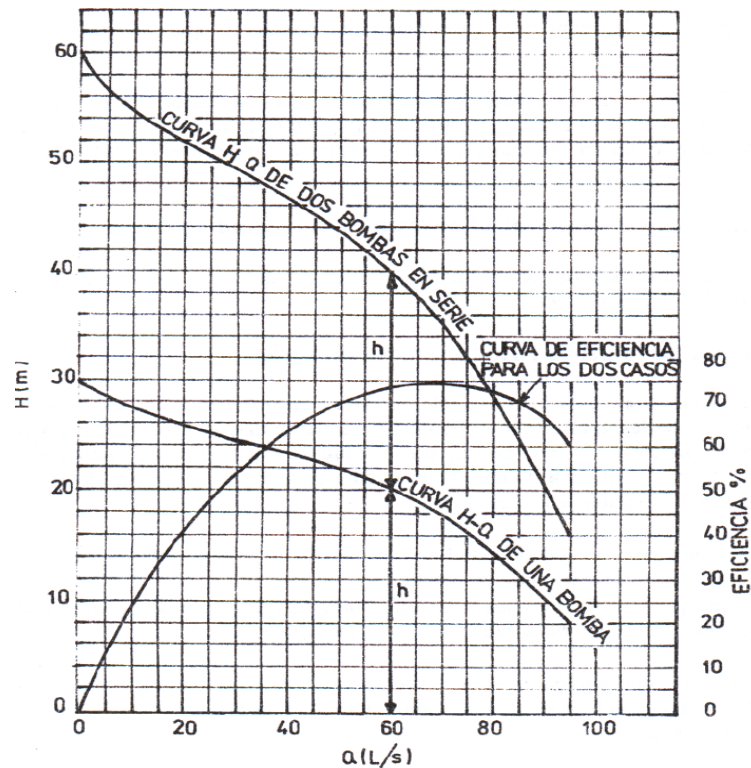
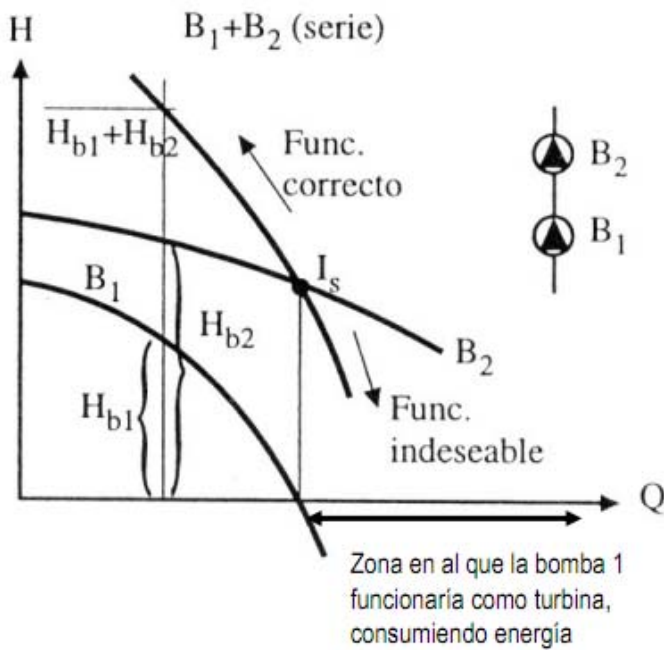
$$Q_{01} = Q_{02} = Q_{03}$$

$$\eta_{A+B} = \eta_A = \eta_B \text{ Bombas Iguais}$$

$$\eta_{A+B} = \frac{\rho g H_{A+B} (Q_{A'} + Q_{B'})}{1000 (N_{A'} + N_{B'})} \text{ Bombas diferentes}$$

$$\eta = \frac{Q \gamma (H_1 + H_2)}{Q \gamma \left(\frac{H_1}{\eta_1} + \frac{H_2}{\eta_2} \right)} = \frac{H_1 + H_2}{\frac{H_1}{\eta_1} + \frac{H_2}{\eta_2}} \text{ Bombas diferentes}$$

$$N_{A+B} = N_A + N_B = 2 N_A \text{ Bombas iguais}$$



Existe también una forma de operación en serie, que se conoce como servicio de booster o relevo, donde las bombas, en vez de colocarse en serie, inmediatamente una a continuación de las otras, se separan entre sí a distancias considerables. El propósito de este tipo de disposición de las bombas, es evitar que la presión alcance valores muy altos al inicio de la conductora, lo que obligaría a tener espesores muy grandes de la pared de la tubería con el costo correspondiente. La disposición en relevo permite utilizar un espesor menor de la pared del tubo a todo lo largo del conducto. La disposición en booster o relevo se utiliza mucho en oleductos.

2.3. Associação de bombas em paralelo

Este tipo de associação é utilizado quando a vazão exigida pelo sistema for maior que a proporcionada pela bomba, ou quando a vazão exigida pelo sistema variar de forma definida. O uso das bombas em paralelo dá como vantagem a segurança operacional (no caso de falha de uma bomba haverá apenas uma diminuição da vazão) e flexibilidade operacional (colocando ou tirando uma bomba do funcionamento consegue-se as vazões exigidas com boa eficiência).

Do ponto de vista físico, as instalações com bombas em paralelo aparecem como ilustrado na Figura (4). Numa associação em paralelo as pressões de sucção de todas as bombas são iguais. O mesmo acontece com as pressões de recalque, em consequência a altura manométrica do conjunto será igual a altura manométrica de qualquer das bombas individuais. Por outro lado parte a vazão do conjunto é igual a soma das vazões individuais de cada bomba.

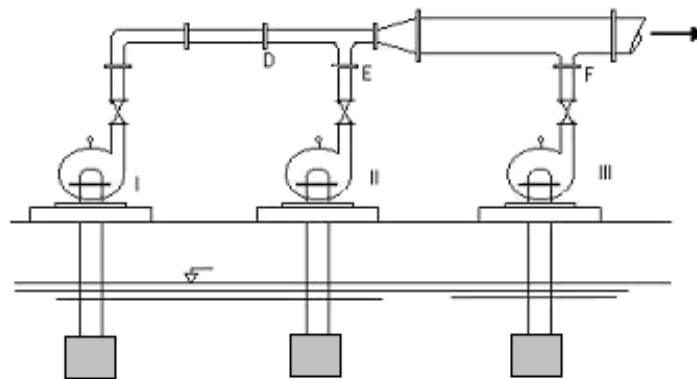


Figura 4. Associação de bombas em paralelo.

2.3.1. Curva característica do conjunto em paralelo

A curva característica do conjunto de bombas em paralelo pode ser determinada somando as vazões de cada bomba correspondentes a um mesmo valor de carga H , conforme mostra a Fig. 5.

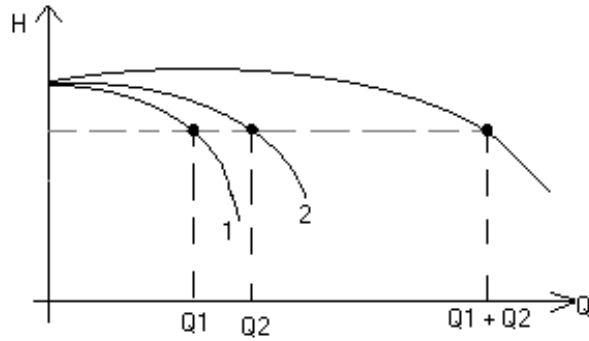


Figura 5. Ejemplo de curva do conjunto de bombas em paralelo

Se disponen las bombas en paralelo cuando se requiere aumentar el caudal a elevar a una determinada altura. En este caso, las características de los rotores se suman en el sentido del eje Q, tal como puede apreciarse en el gráfico.

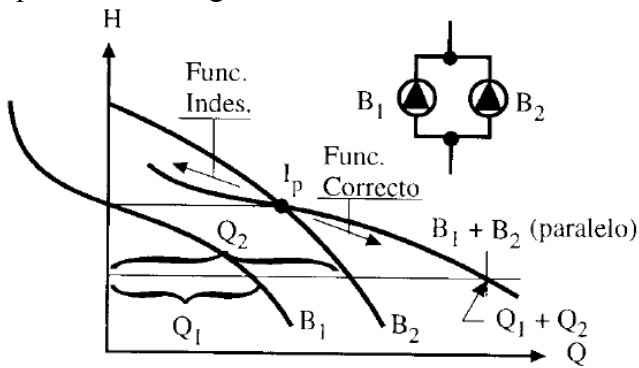
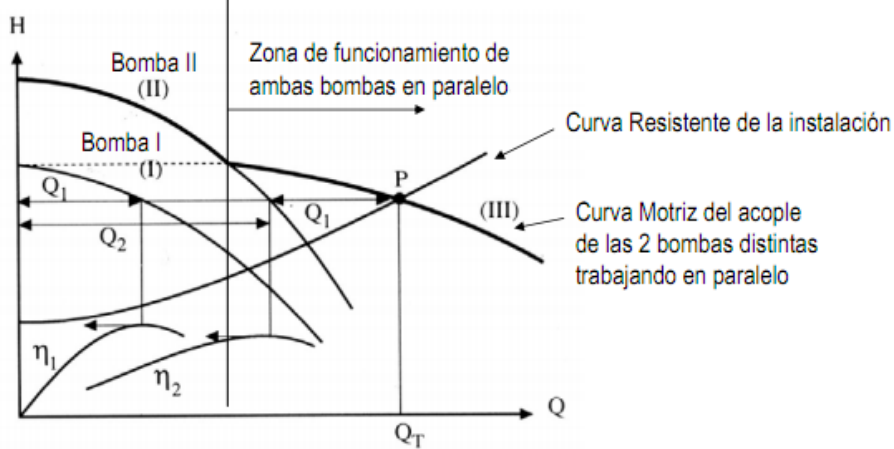


Figura 5.26. Acoplamiento de bombas diferentes en paralelo.

• Bombas con características distintas

Zona en la que la bomba 1 no podría dar la altura requerida, y "trabajaría" con la válvula cerrada



$$\eta_{A+B} = \eta_A = \eta_B \text{ Bombas Iguais}$$

$$\eta_{A+B} = \frac{\rho g H_{A+B} (Q_{A'} + Q_{B'})}{1000 (N_{A'} + N_{B'})} \text{ Bombas diferentes}$$

$$\eta = \frac{\gamma H (Q_1 + Q_2)}{\gamma H \left(\frac{Q_1}{\eta_1} + \frac{Q_2}{\eta_2} \right)} = \frac{Q_1 + Q_2}{\frac{Q_1}{\eta_1} + \frac{Q_2}{\eta_2}} \text{ Bombas diferentes}$$

$$N_{A+B} = N_A + N_B = 2 N_A \text{ Bombas iguais}$$

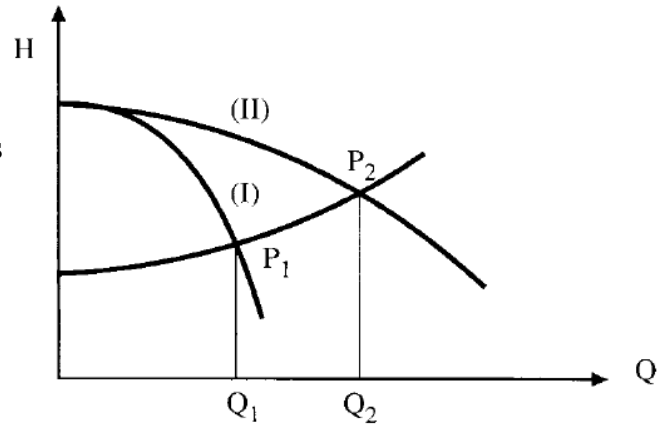


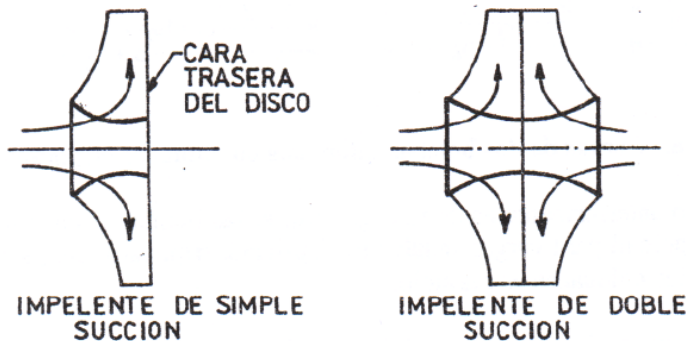
Figura 5.27. Dos bombas idénticas acopladas en paralelo.

$$H_b = H_{b1} = H_{b2}, \quad Q = Q_1 + Q_2$$

\$Q_2\$ no es el doble de \$Q_1\$, ya que hay que tener en cuenta que a mayor caudal mayores pérdidas en la instalación. Sólo si no hay pérdidas en la tubería e instalaciones de impulsión (pendiente nula de la curva resistiva) tendríamos que uno fuese el doble del otro.

Aunque normalmente se piensa que la colocación de bombas en paralelo se hace para aumentar el caudal en un sistema existente, lo más común es que las instalaciones de bombas en paralelo se dispongan para fraccionar un caudal total en caudales parciales para resolver situaciones especiales de operación.

Un impelente de doble succión es en la práctica la unión por la cara trasera del disco, de dos impelentes de simple succión, como en un espejo (ver la figura 4.20). El comportamiento hidráulico de un impelente de doble succión es como si se pusieran dos impelentes de simple succión a trabajar en paralelo.



3. Parte Experimental

3.1. Descrição da instalação:

Os equipamentos estão instalados como se apresentam na Fig 6.

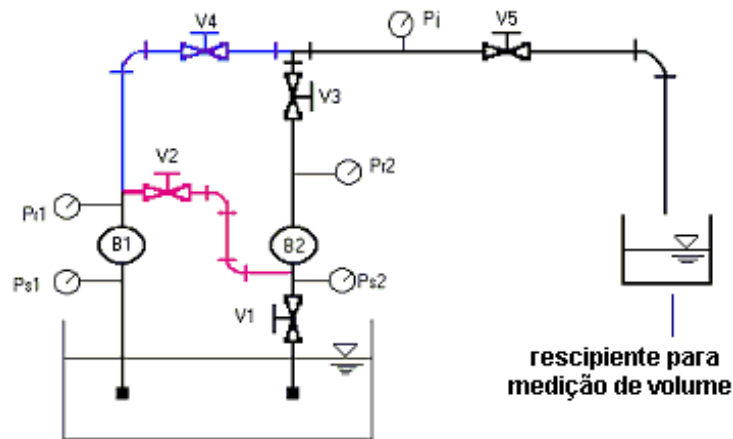


Figura 6. Instalação de equipamentos para testes de associação de bombas em série e em paralelo.

- V_i : Válvula i , $i = 1...5$
- B_i : Bomba i , $i = 1, 2$
- P_{ri} : Pressão de recalque na bomba i , $i = 1, 2$
- P_{si} : Pressão de sucção na bomba i , $i = 1, 2$
- P_i : Pressão.

3.2. Descrição da experiência

3.2.1. Associação em série

Inicialmente fecha-se a válvula V_4 que permite a captação em paralelo e abre-se a válvula V_2 que torna o sistema em série. Em seguida, variando-se os volumes, mede-se os valores de pressão de recalque e sucção através dos manômetros e vacuômetros, tanto para a bomba 1 como para a bomba 2. Medido o tempo para obtenção de cada volume pré-fixado, tem-se diferentes vazões. As pressões usadas para cálculo de H do sistema é a de sucção da bomba 1 e recalque da bomba 2.

3.2.2. Associação em paralelo

Para o ensaio com bombas associadas em paralelo, são feitas as medidas de volume e tempo, as pressões de sucção e recalque para cada bomba e para o sistema (junção do sistema). Para obter-se a configuração em paralelo abre-se a válvula V_4 que permite a captação em paralelo e fecha-se a válvula V_2 que torna o sistema em série. As pressões de sucção da bomba 1 e 2 deverão estar bem próximas, a menos de erros pequenos desta forma, as pressões usadas para cálculo de H do sistema são a pressão na junção e a pressão de sucção de qualquer uma das bombas.

São recomendadas 6 medidas para cada montagem.

3.3. Tabela de medidas

Tabela 1. Medidas para a associação em série.

Vol (l)	Temp (s)	PS B 1 (mmHg)	PR B 1 (Kgf/cm ²)	PS B 2 (Kgf/cm ²)	PR B 2 (Kgf/cm ²)	Tensão (V)	Corrente (A)	Pressão na descarga

Onde:

Vol – volumen

Temp – tempo

PS B1 - Pressão Sucção Bomba 1

PR B1 - Pressão Recalque Bomba 1

PS B2 - Pressão Sucção Bomba 2

PR B2 - Pressão Recalque Bomba 2

Tabela 2. Medidas para associação em paralelo.

Vol (l)	Temp (s)	PS B 1 (mmHg)	PR B 1 (Kgf/cm ²)	PS B 2 (Kgf/cm ²)	PR B 2 (Kgf/cm ²)	Tensão (V)	Corrente (A)	Pressão na descarga

3.4. Cálculos

Dados:

γ : peso específico da água 9800 [N/m³]

Realizar todos os cálculos no sistema internacional

- Determinar as características do ponto de operação da associação em serie
- Determinar as características de uma das bombas trabalhando em serie
- Determinar as características de uma das bombas trabalhando sozinha.
- Determinar as características do ponto de operação da associação em paralelo

- e)- Determinar as características de uma das bombas trabalhando em paralelo
- f)- Determinar as características de uma das bombas trabalhando sozinha.
- g)- Com ajuda do Excel determinar a equação da curva característica da bomba fazendo um ajuste polinomial de segundo grau.
- h)- Comparar os gráficos obtidos com os que mostram o fabricante das bombas em seu website tanto para a associação em serie como para paralelo.

<http://www.thebe.com.br/pdf/catalogo/TH-16%20-%20THA-16.pdf>

3.4.1. Associação em série

- ♦ Para cada vazão medida, usando a Eq. (1) calcular a altura manométrica da bomba 1, H_1 e da bomba 2, H_2 .
- ♦ Calcular a altura manométrica total H_T do conjunto em serie, somando as alturas manométricas de cada bomba. Isto é:

- Para cada medição, calcular a altura H do sistema, através da equação 1

Logo:

$$H_T = H_1 + H_2 \quad (2)$$

- Para cada medição, calcular a vazão correspondente

$$Q_1 = \frac{V_1}{t_1} \quad (3)$$

- Determinar as perdas de carga no sistema.

$$\left(\frac{p_{r1} - p_{s2}}{\gamma} \right) + \left(\frac{p_{r2} - p_{des}}{\gamma} \right) = \sum h_{1-2} \quad (4)$$

- Determinar as Potências útil P

$$P = \gamma \cdot Q \cdot H \quad (5)$$

P : Potência útil da bomba [W]

Q : Vazão volumétrica [m^3/s]

H : Carga [m]

- Potência motriz P_m

$$P_m = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \eta_m [W] \quad (6)$$

P_m : Potência motriz [W]

V : Tensão de linea[V]

I : Corrente de linea [A]

$\cos \varphi$: ângulo entre a tensão e a corrente de fase

η_m : Eficiência do motor

- Rendimento da bomba η

É a relação entre a potência útil (potência fornecida pela bomba ao líquido) e a potência motriz (potência cedida à bomba pelo motor)

$$\eta = 100 \frac{P_u}{P_m} \Rightarrow \eta = 100 \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_u}{P_m} \quad [\%] \quad (7)$$

η : Rendimento da bomba.

3.4.2. Associação em paralelo

- ♦ Para cada medição, calcular a altura H do sistema, através da equação 1 modificada.

$$H = \frac{P_i - P_{s1}}{\gamma} \quad \text{ou} \quad H = \frac{P_i - P_{s2}}{\gamma} \quad (8)$$

- ♦ Para cada medição, calcular a vazão correspondente a cada bomba

$$Q_1 = \frac{V_1}{t_1} \quad \text{e} \quad Q_2 = \frac{V_2}{t_2} \quad (4)$$

- ♦ Para cada medição, calcular a vazão total do conjunto, somando as vazões de cada bomba com a Eq. 5.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 \quad (5)$$

- Determinar as perdas de carga no sistema.

$$\left(\frac{P_{r1} - P_{des}}{\gamma} \right) + \left(\frac{P_{r2} - P_{des}}{\gamma} \right) = \sum h_{1-2}$$

- Determinar as Potências útil P

$$P = \gamma \cdot Q \cdot H \quad (4)$$

P : Potência útil da bomba [W]

Q : Vazão volumétrica [m³/s]

H : Carga [m]

- Potência motriz P_m

$$P_m = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \eta_m [W] \quad (5)$$

P_m : Potência motriz [W]
 V : Tensão de linha [V]
 I : Corrente de linha [A]
 $\cos\varphi$: ângulo entre a tensão e a corrente de fase
 η_m : Eficiência do motor

- Rendimento da bomba η

É a relação entre a potência útil (potência fornecida pela bomba ao líquido) e a potência motriz (potência cedida à bomba pelo motor)

$$\eta = 100 \frac{P_u}{P_m} \Rightarrow \eta = 100 \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_u}{P_m} \quad [\%] \quad (6)$$

η : Rendimento da bomba.

3.5. Tabela de resultados

Tabela 3. Resultados para associação em série

Q_T [m ³ /s]	H_1 [m]	H_2 [m]	H_T [m]	η [%]	P [CV]	$\sum h_{1-2}$ [m]

Tabela 4. Resultados para associação em paralelo

H_T [m]	Q_1 [m ³ /s]	Q_2 [m ³ /s]	Q_T [m ³ /s]	η [%]	P [CV]	$\sum h_{1-2}$ [m]

3.6. Gráficos

- ♦ Com os valores obtidos, na Tab. (3) montar o gráfico da associação em série, construindo a curva característica das bombas, a curva de rendimento e consumo de potencia.

- ♦ Com os valores obtidos, na Tab. (4) montar o gráfico da associação em paralelo e fazer as mesmas curvas que na associação em serie.

3.7. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

- Trace as curvas de $H - Q$, $N - Q$, $\eta - Q$ de la máquina y del sistema ($h_t - Q$)
- Fazer os respectivos comentários sobre os gráficos.
- Determinar as características do ponto de operação. H, Q, P, Rendimento. Em serie e em paralelo.

3.8. SUGESTÕES

fazer todos os gráficos juntos em uma figura para facilitar a compreensão

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

FOX, R. W. Introdução á Mecânica dos Fluidos. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 504 p.

MACINTYRE, A. J. Bombas e Instalações de Bombeamento. 2. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1997.782 p.

MATAIX, C. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas. México: Harla, 1970. 582 p.

MATTOS, E. E. Bombas Industriais. 2. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

TORREIRA, R. P. Bombas Válvulas e Acessórios. São Paulo: Torreira, 1996. 724p.

KSB, Manual de Treinamento: Seleção e Aplicação de Bombas Centrífugas. Centro de Treinamento da KSB, 2003. 229p.