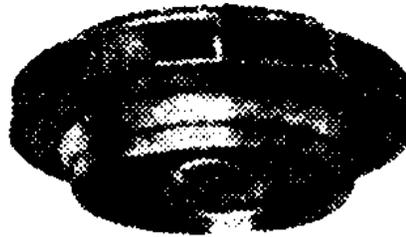
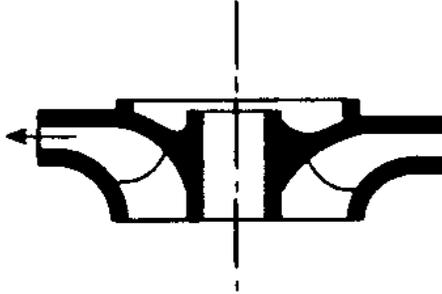


Bombas

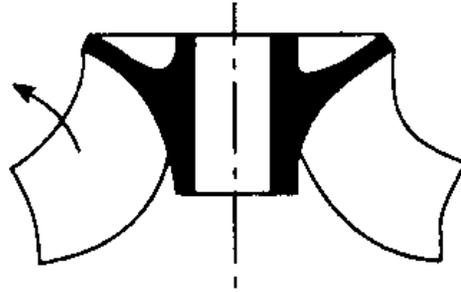
- Máquinas hidráulicas capazes de elevar a pressão de um fluido, isto é, de lhe comunicar energia;
- As bombas classificam-se de acordo com a forma do propulsor em centrífugas (ou radiais), mistas (ou diagonais) e axiais;

Bombas Centrífugas



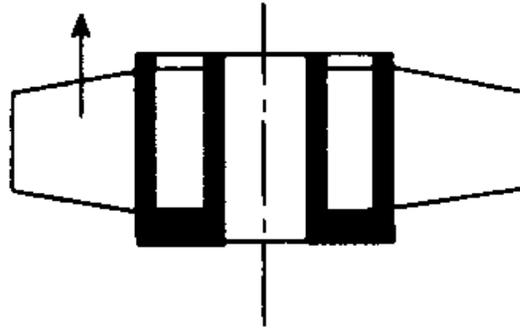
- A pressão é desenvolvida principalmente por acção da força centrífuga. O líquido entra axialmente pelo centro e sai radialmente pela periferia. Este tipo de bomba adapta-se principalmente a grandes alturas de elevação.

Bombas mistas



- A pressão é desenvolvida em parte pela força centrífuga e em parte pela acção da sucção das pás sobre o líquido. O líquido entra axialmente e sai numa direcção média entre axial e radial. Este tipo de bomba adapta-se principalmente a alturas médias de elevação.

Bombas Axiais



- A pressão é desenvolvida sobretudo pela acção da sucção das pás sobre o líquido. O líquido entra axialmente e sai quase axialmente. Este tipo de bomba adapta-se bem a baixas alturas de elevação.

Caudal

- É o volume de líquido bombado na unidade de tempo. Em unidades do Sistema Internacional mede-se em metros cúbicos por segundo (m^3s^{-1}). É representado por Q .

Altura de elevação

- É o aumento de pressão que a bomba pode comunicar ao fluído. Costuma exprimir-se em metros de coluna do líquido. Será representado por H .

$$H = Y + h + h_s$$

Y – altura geométrica total;

h – Perda de carga contínua;

h_s – Perda de carga singular (em condutas com vários acessórios pode admitir-se igual a 10 % da perda de carga contínua).

Carga absoluta na aspiração acima da tensão do vapor

- É a diferença entre a altura total de aspiração, referida à pressão absoluta, e a tensão do vapor do líquido. Representa-se por H_o .

$$H_o = h_o + H_a - h_v$$

h_o – Pressão atmosférica em m;

H_a – Altura total de aspiração em m; negativa se o eixo da bomba está acima do nível do reservatório de aspiração e positiva se o eixo da bomba está abaixo do nível do reservatório de aspiração;

h_v – Tensão do vapor do líquido em m.

- Para evitar fenómenos de cavitação nas bombas e para evitar que elas deferrem, a carga H_o não pode ser inferior a um valor limite designado por “pressão absoluta máxima na aspiração”. Este valor depende da velocidade específica da bomba e é uma característica de cada bomba fornecida em geral pelo construtor.

10 — Propriedades físicas da água doce à pressão atmosférica
($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

Compilada de [1], [5], [18] e [29]

Temperaturas T °C	Massa Específica ρ kg/m ²	Peso Específico γ N/m ³	Viscosidade Dinâmica μ Ns/m ²	Viscosidade Cinemática $\nu = \mu/\rho$		Tensão Superficial (água c/ar) σ N/m	Tensão do Vapor h_v metros de coluna de água a 4°C	Módulo de Elasticidade ϵ N/m ² (valores aproximados)
				m ² /s	cSt			
0	999,9	9809,02	1776×10^{-6}	$1,78 \times 10^{-6}$	1,78	0,07564	0,062	$19,52 \times 10^8$
4	1000,0	9810,00	1570×10^{-6}	$1,57 \times 10^{-6}$	1,57	0,07514	0,083	
10	999,7	9807,06	1315×10^{-6}	$1,31 \times 10^{-6}$	1,31	0,07426	0,125	$20,50 \times 10^8$
20	998,2	9792,34	1010×10^{-6}	$1,01 \times 10^{-6}$	1,01	0,07289	0,239	$21,39 \times 10^8$
30	995,7	9767,82	824×10^{-6}	$0,83 \times 10^{-6}$	0,82	0,07122	0,433	$21,58 \times 10^8$
40	992,2	9733,48	657×10^{-6}	$0,66 \times 10^{-6}$	0,66	0,06965	0,753	$21,68 \times 10^8$
50	988,1	9693,26	549×10^{-6}	$0,56 \times 10^{-6}$	0,56	0,06769	1,258	$21,78 \times 10^8$
60	983,2	9645,19	461×10^{-6}	$0,47 \times 10^{-6}$	0,47	0,06632	2,033	$21,88 \times 10^8$
80	971,8	9533,39	363×10^{-6}	$0,37 \times 10^{-6}$	0,37	0,06259	4,831	
100	958,4	9401,90	275×10^{-6}	$0,29 \times 10^{-6}$	0,29	0,05896	10,333	

Nos cálculos habituais da Hidráulica, toma-se $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; $\gamma = 10\,000 \text{ N/m}^3$; $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

NOTA: Indicam-se os seguintes valores para massa específica do gelo: 0°C, $\rho = 916,7 \text{ kg/m}^3$; - 10°C, $\rho = 918,6 \text{ kg/m}^3$; - 20°C, $\rho = 920,3 \text{ kg/m}^3$

Potências e rendimentos

- Potência útil da bomba (P_u) é a potência correspondente ao trabalho realizado pela bomba:

$$P_u = \gamma Q H$$

- Potência absorvida pela bomba (P_a) é a potência fornecida no eixo da bomba

$$P_a = \frac{P_u}{\eta}$$

η – É o rendimento da bomba = P_u / P_a

Potências e rendimentos

- Potência útil do motor (P'_u) é a potência à saída do motor. No caso de transmissão rígida é:

$$P'_u = P_a$$

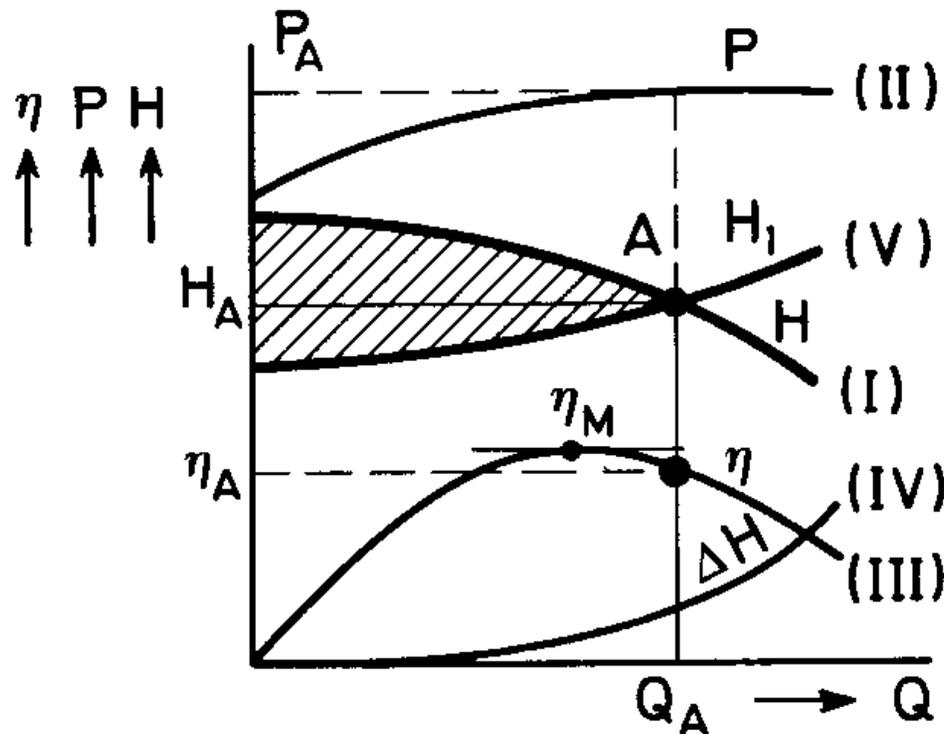
- Potência absorvida pelo motor (P'_a) é a potência fornecida ao motor:

$$P'_a = \frac{P'_u}{\eta'}$$

η' – É o rendimento do motor = P'_u / P'_a

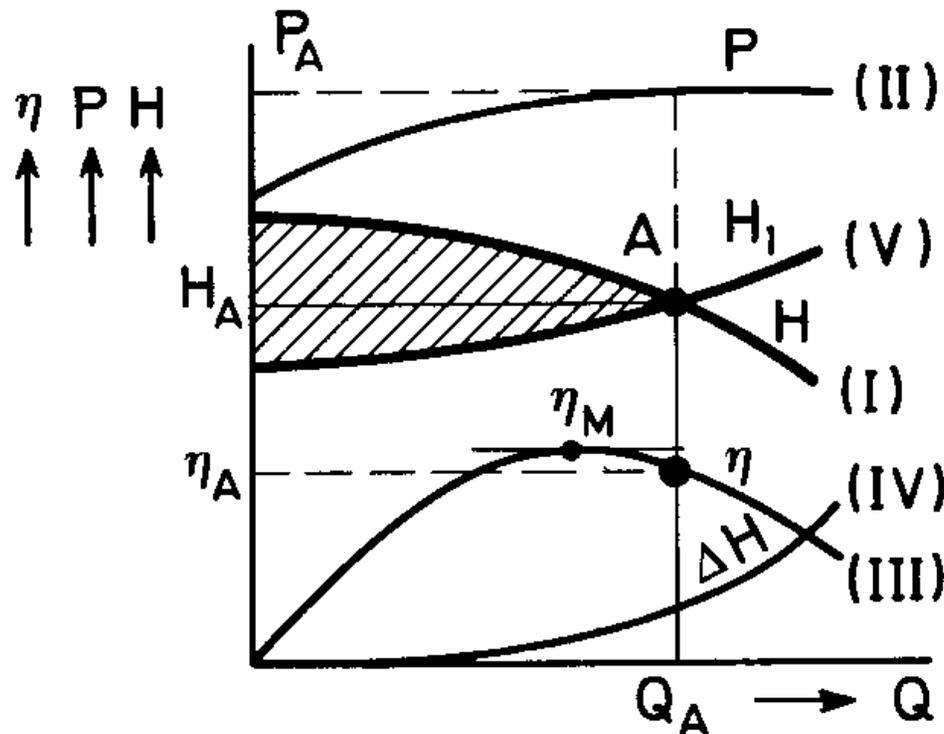
Curvas características

- Para uma dada rotação é a relação entre o caudal (Q), a altura total (H) a potência absorvida (P) e o rendimento (η).
- É possível estabelecer as seguintes curvas características:
Curva (I) – das alturas totais (H) em função dos caudais;



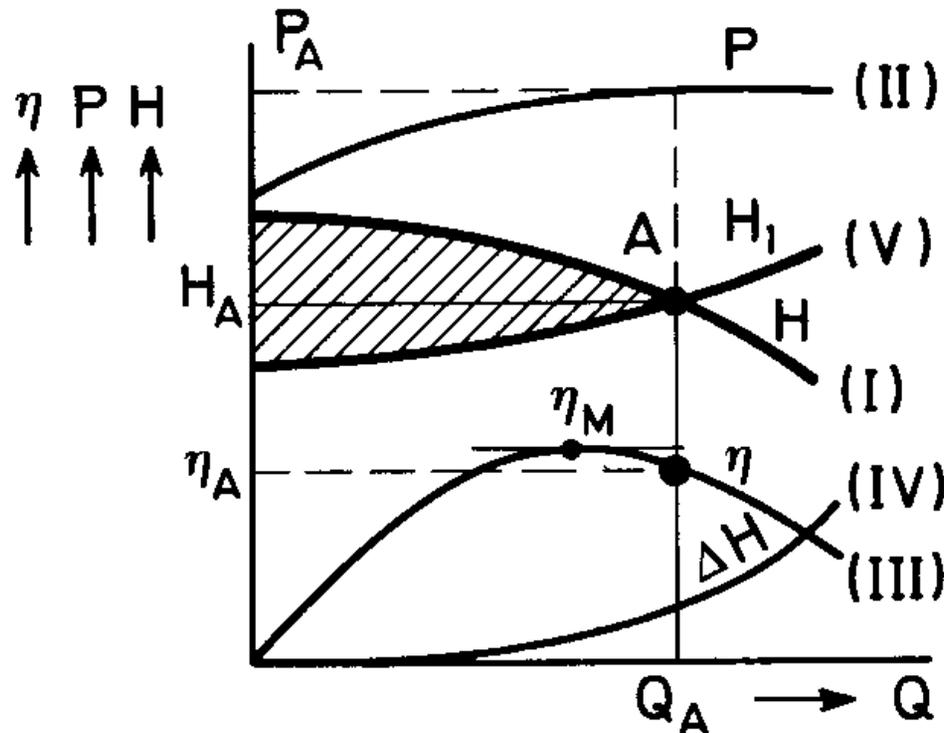
Curvas características

- Para uma dada rotação é a relação entre o caudal (Q), a altura total (H) a potência absorvida (P) e o rendimento (η).
- É possível estabelecer as seguintes curvas características:
Curva (II) – das potências absorvidas (P) em função dos caudais;



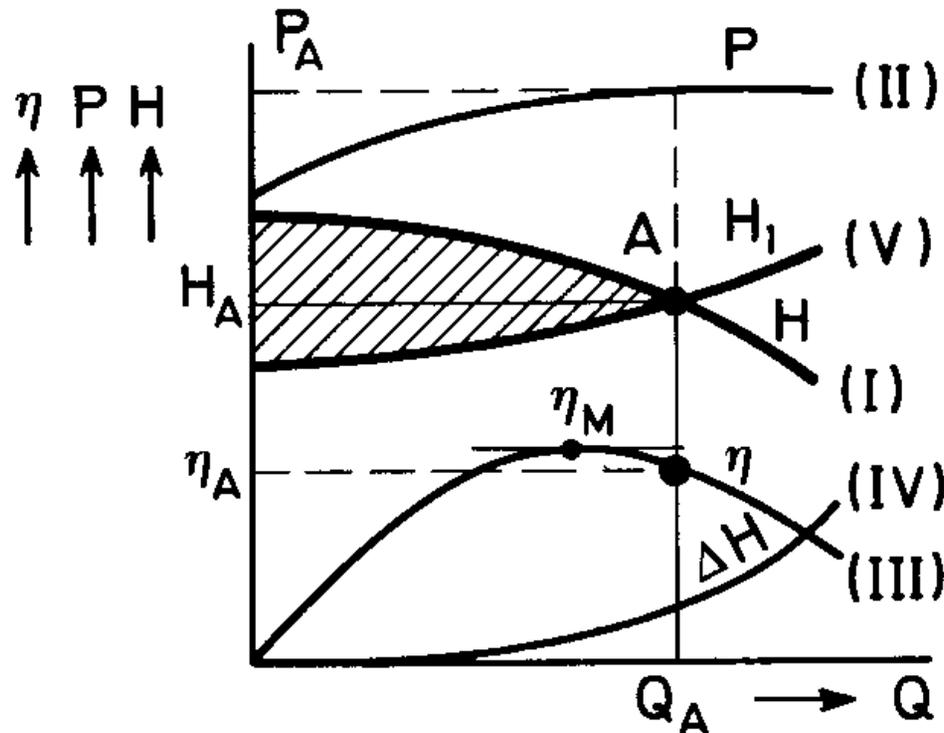
Curvas características

- Para uma dada rotação é a relação entre o caudal (Q), a altura total (H) a potência absorvida (P) e o rendimento (η).
- É possível estabelecer as seguintes curvas características:
Curva (III) – dos rendimentos (η) em função dos caudais;



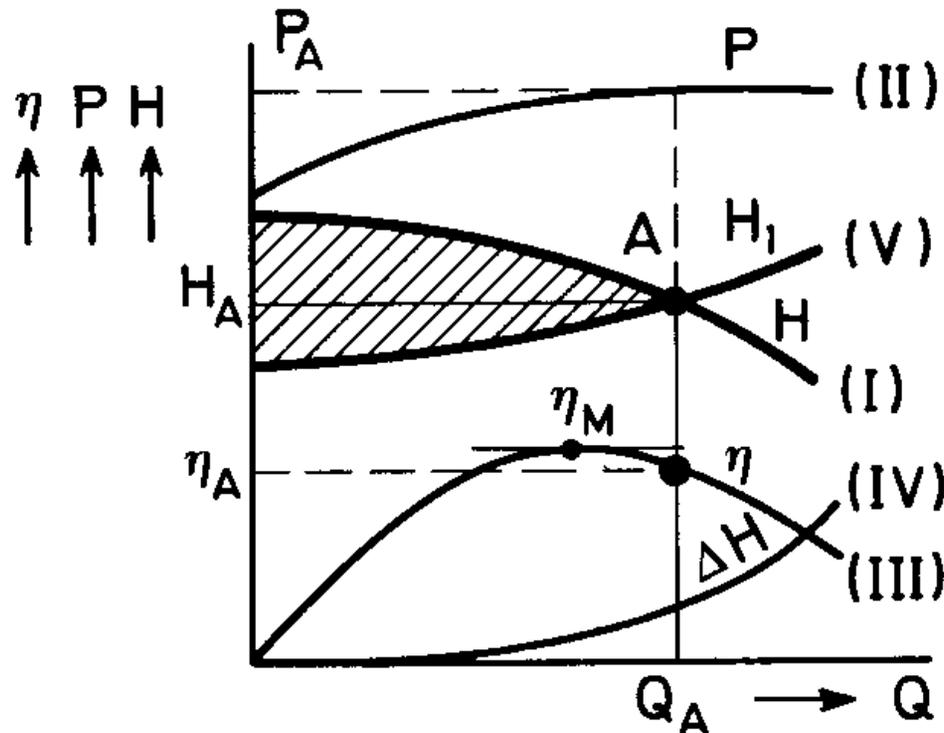
Curvas características

- Para uma dada rotação é a relação entre o caudal (Q), a altura total (H) a potência absorvida (P) e o rendimento (η).
- É possível estabelecer as seguintes curvas características:
Curva (IV) – das perdas de carga totais (ΔH) em função dos caudais;



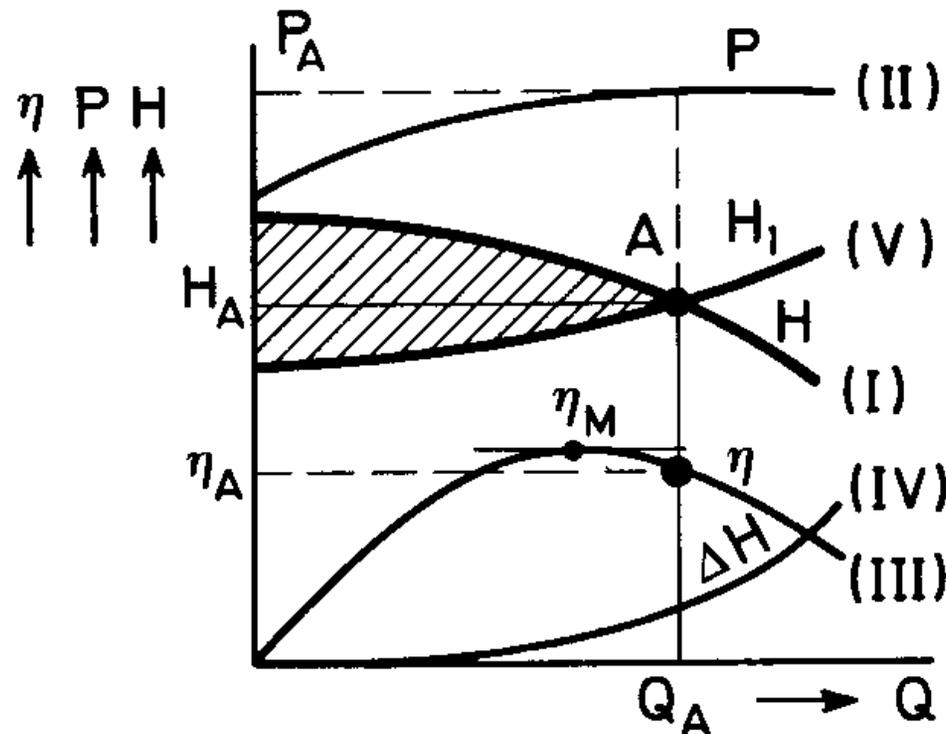
Curvas características

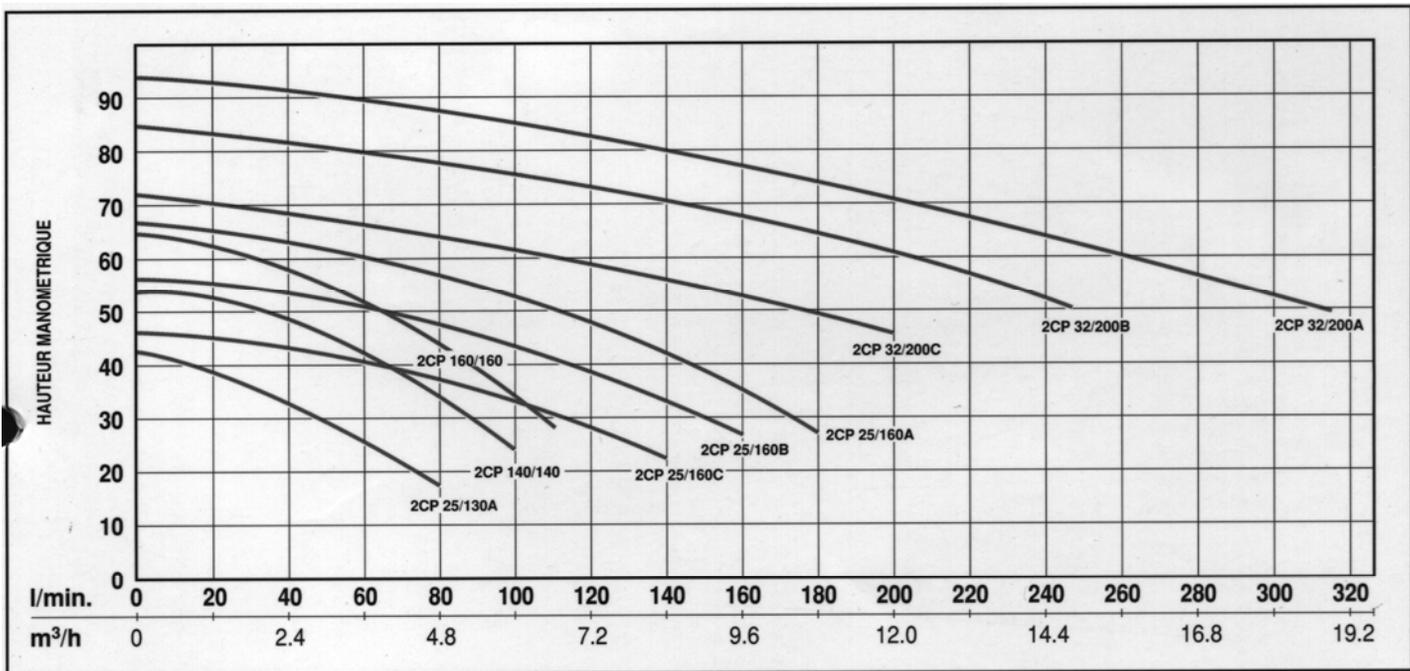
- Para uma dada rotação é a relação entre o caudal (Q), a altura total (H) a potência absorvida (P) e o rendimento (η).
- É possível estabelecer as seguintes curvas características:
Curva (V) – $H_1 = Y + \Delta H$ em função dos caudais;



Ponto de funcionamento

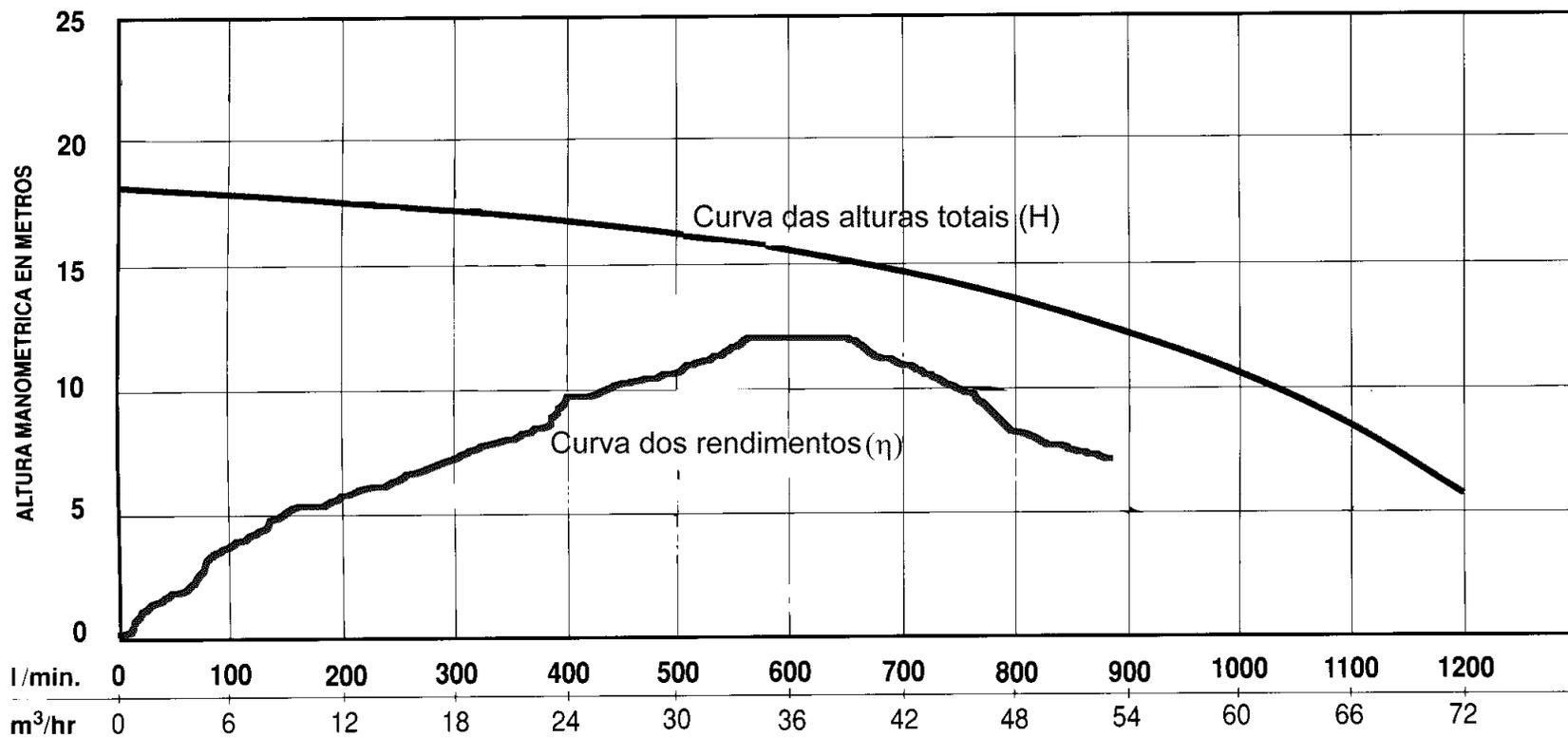
- Desenhadas as curvas características, o ponto de funcionamento da bomba obtém-se pela intersecção da curva V com a curva I. A esse ponto corresponde a uma determinada potência absorvida e um determinado rendimento.





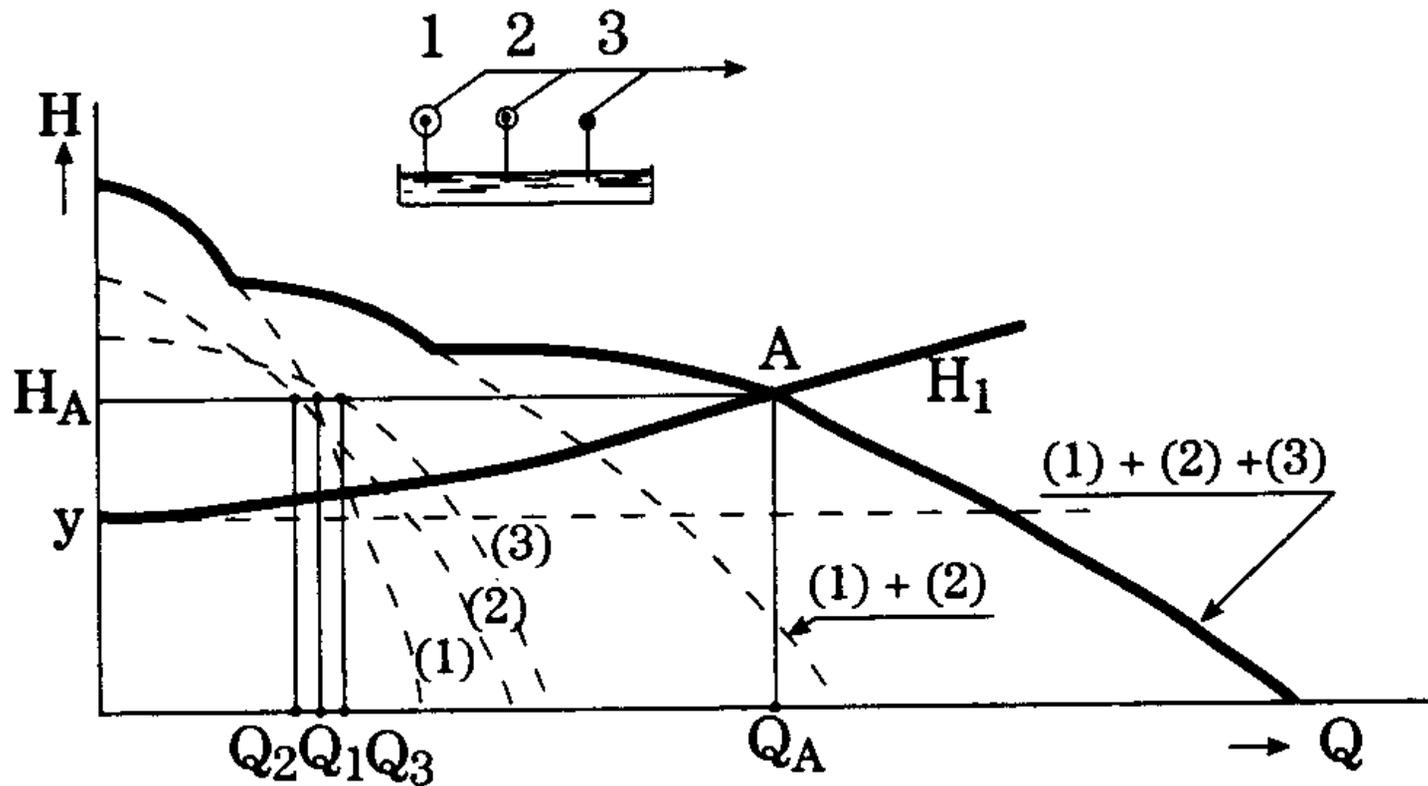
CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT 2900 TOURS/MINUTE

TYPES DE POMPE		POTENZA		DEBIT LITRES/MINUTE																			
				0	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200	220	250	280	315
Monophasé	Triphasé	CV	kW	DEBIT METRE CUBE/HEURE																			
				0	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.5	8.4	9.6	10.8	12.0	13.2	15.0	16.8	18.9
				HAUTEUR MANOMETRIQUE TOTALE/METRES																			
2CPm25/130	2CP25/130	1	0.75	44	40	37	34	30	26	22	18												
2CPm140/140	2CP140/140	1.5	1.1	55	53	51	49	46	42	38	34	29	24										
2CPm160/160	2CP160/160	2	1.5	66	64	62	60	57	52	48	44	39	34	30									
2CPm25/160C	2CP25/160C	1.5	1.1	48	46	45	44	43	42	40	38	36	34	31	27	22							
2CPm25/160B	2CP25/160B	2	1.5	58	56	55	54	53	52	50	48	46	44	41	38	33	26						
-	2CP25/160A	3	2.2	68	66.5	65.5	65	62	60.5	60	58	56	54	51	47	41	34	28					
2CPm32/200C	2CP32/200C	4	3	72	-	-	68	67	66	65	64	63	62	60	58	56	52	50	45				
2CPm32/200B	2CP32/200B	5.5	4	86	-	-	82	81	80	79	78	77	76	74	72	70	68	64	60	55	50		
-	2CP32/200A	7.5	5.5	95	-	-	-	90	89	88	87	86	85	84	82	80	77	74	71	66	61	55	50



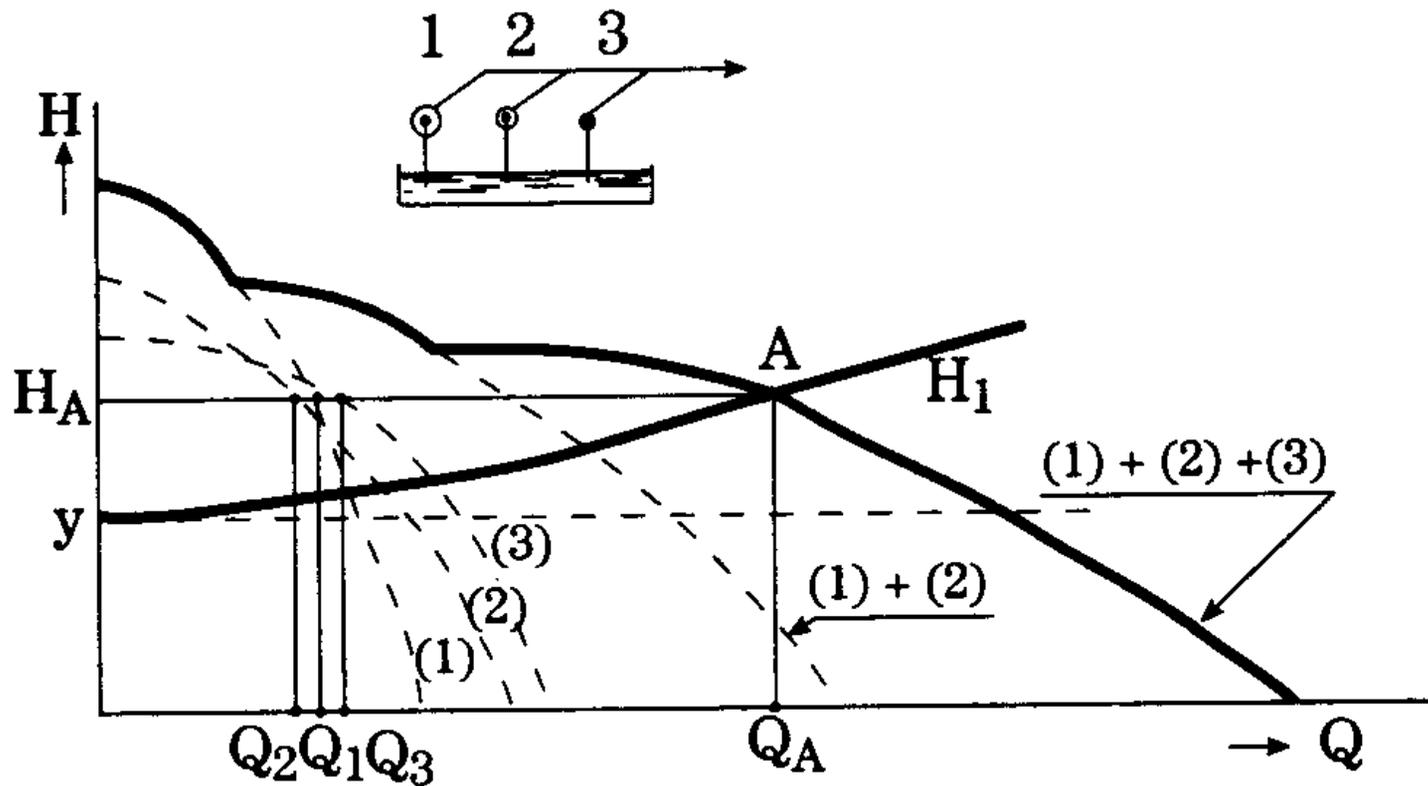
Ligação de bombas em paralelo

- Na ligação de bombas em paralelo, a curva das cargas totais (H) obtém-se somando nas abcissas as curvas H individuais.



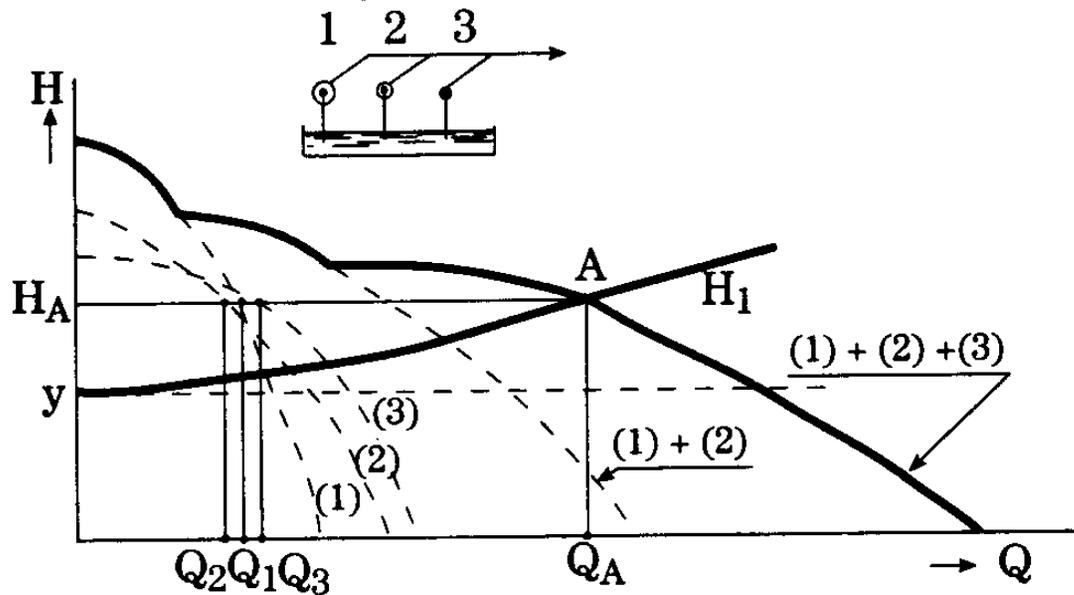
Ligação de bombas em paralelo

- O ponto de funcionamento obtém-se pela intersecção da curva H soma assim obtida com a curva H_1 característica da instalação.



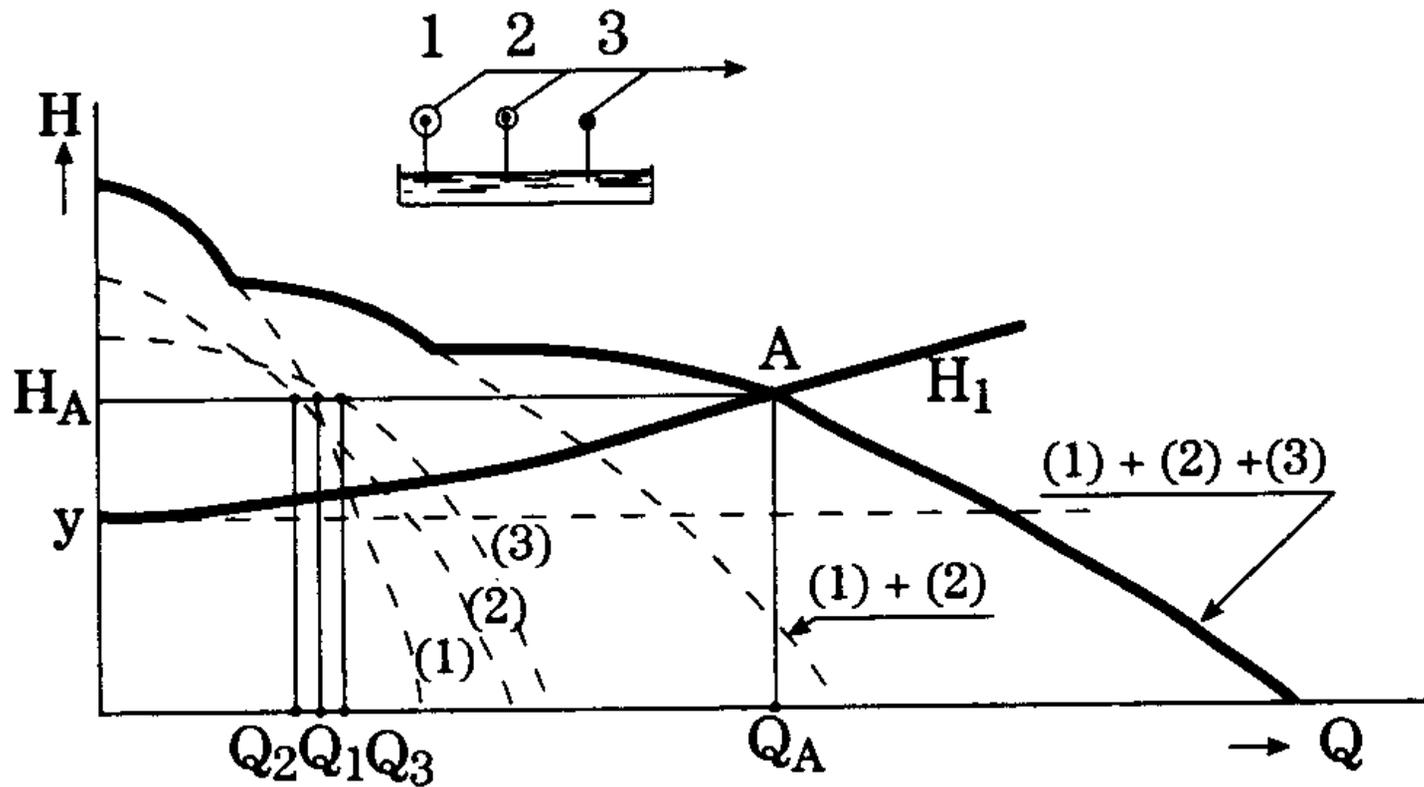
Ligação de bombas em paralelo

- O caudal debitado por cada bomba obtém-se traçando a horizontal que passa por A e achando a sua intersecção com as curvas (1), (2) e (3). O caudal total será a soma dos caudais das várias bombas, $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$.
- Na ligação em paralelo, o caudal total é sempre inferior à soma do caudal de cada uma das bombas, funcionando separadamente.



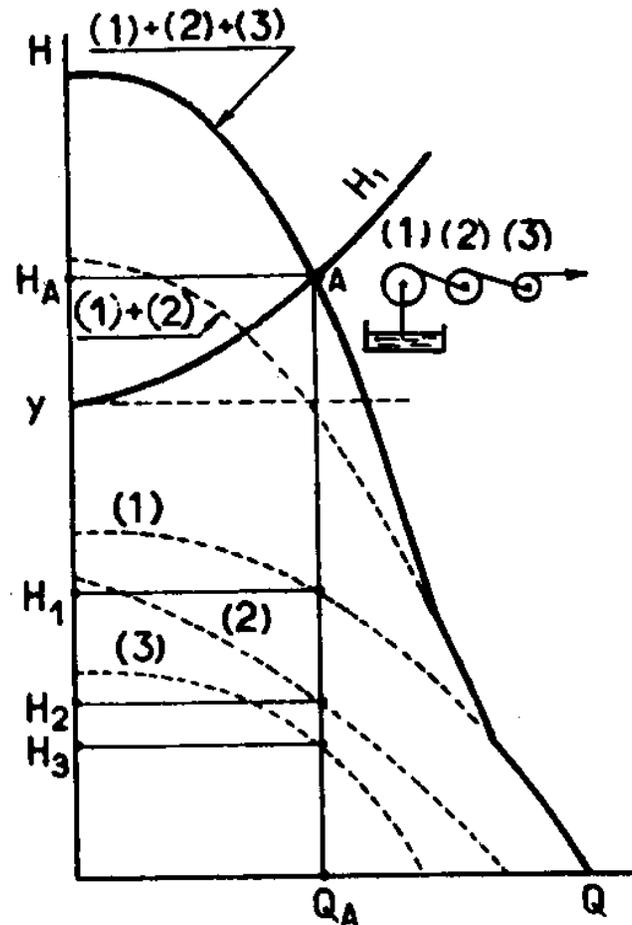
Ligação de bombas em paralelo

- A carga total é igual a H_A para cada uma das bombas e para o conjunto.



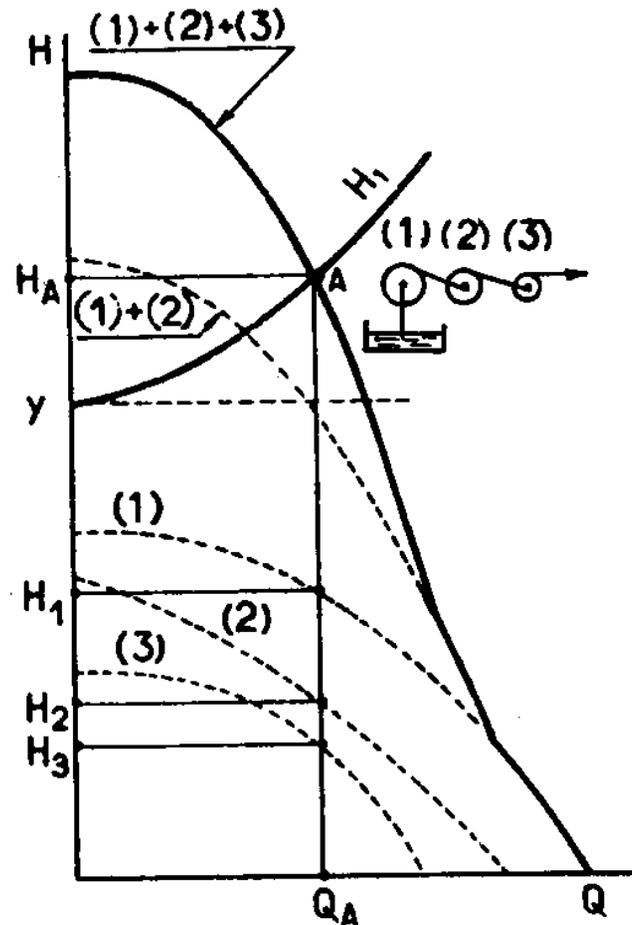
Ligação de bombas em série

- Na ligação de bombas em série, a curva das cargas totais (H) obtém-se somando as ordenadas das curvas H , correspondentes a cada bomba.



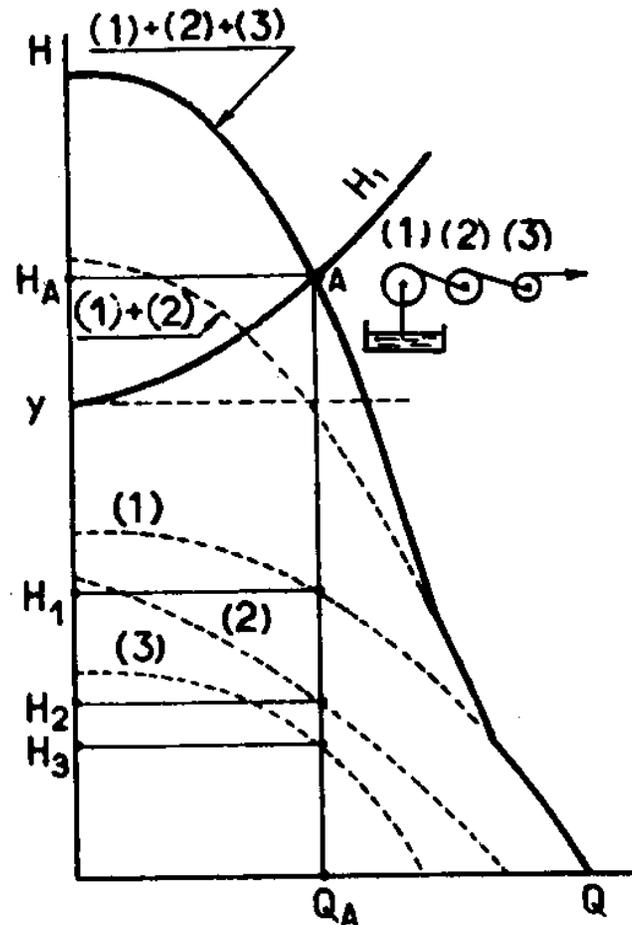
Ligação de bombas em série

- O ponto de funcionamento obtém-se pela intersecção desta com a curva H_1 , característica da instalação.



Ligação de bombas em série

- O caudal debitado por todas as bombas é, evidentemente, o mesmo e igual a Q_A .

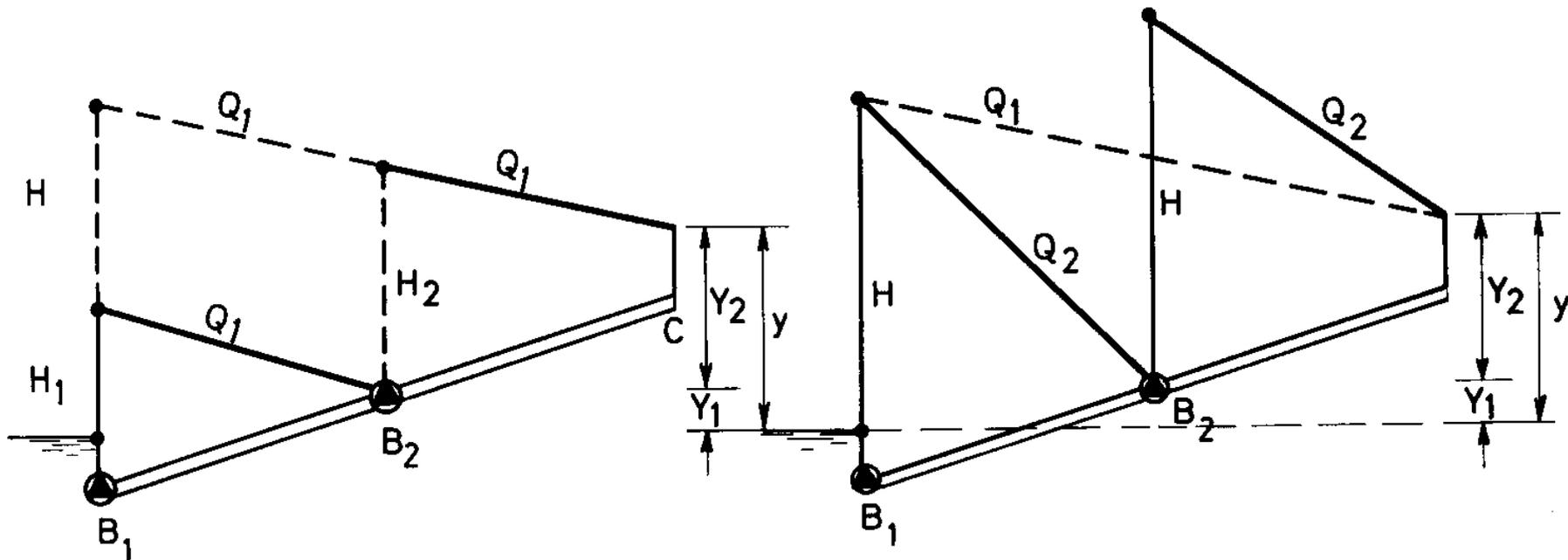


Ligação de bombas em série

- As alturas que cada uma eleva são respectivamente H_1 , H_2 e H_3 . Note-se, no entanto, que a ligação de bombas em série pode oferecer graves dificuldades; com efeito a bomba 3 poderá estar naturalmente construída para suportar uma pressão que será inferior à pressão a que efectivamente está sujeita.
- Nestas circunstâncias em vez de bombas em série, é preferível usar bombas de vários andares;
- Uma bomba de andares é uma ligação em série de vários impulsores montados no mesmo veio;
- A curva característica faz-se como a ligação anterior, a partir da curva característica de cada impulsor.

Ligação de bombas em série

- Pode acontecer também que as bombas tenham de ser localizadas em série distanciadas umas das outras. Este sistema tem a vantagem de reduzir a pressão na canalização, ou aumentar a capacidade de transporte duma conduta já existente.



Ligação de bombas mista

- A junção em paralelo de várias séries faz-se traçando a curva $H = f(Q)$ para cada série e somando as abcissas dessas curvas;
- A junção em série de bombas trabalhando em paralelo faz-se obtendo primeiro as curvas correspondentes às várias ligações em paralelo e depois fazendo as séries.

Instalação, exploração e manutenção

Uma bomba centrífuga, se estiver instalada em boas condições e houver cuidados com a sua exploração e manutenção, tem uma duração bastante longa e geralmente livre de avarias. Os principais pontos a ter em vista são:

- 1- A bomba deve ser colocada tão próximo quanto possível do líquido a elevar, a fim de evitar grandes alturas de aspiração. Na condução de elevação devem evitar-se curvas e outras singularidades que aumentam as perdas de carga;
- 2 – A bomba deve ser protegida contra as inundações. O motor eléctrico deve ser instalado em lugar seco (excepto as bombas submersíveis;

Instalação, exploração e manutenção

Uma bomba centrífuga, se estiver instalada em boas condições e houver cuidados com a sua exploração e manutenção, tem uma duração bastante longa e geralmente livre de avarias. Os principais pontos a ter em vista são:

- 3 – A fundação deve ser suficientemente robusta de modo a garantir um bom alinhamento do grupo;
- 4 – O grupo deve ser assente e nivelado antes de ser ligado às tubagens de aspiração e de compressão. Estas devem justapor-se às respectivas flanges, sem exercerem qualquer esforço sobre a bomba;

Instalação, exploração e manutenção

Uma bomba centrífuga, se estiver instalada em boas condições e houver cuidados com a sua exploração e manutenção, tem uma duração bastante longa e geralmente livre de avarias. Os principais pontos a ter em vista são:

- 5 – A tubagem de aspiração deve estar isenta de qualquer entrada de ar, sobretudo quando existe uma altura de aspiração grande. Esta nunca deve ser horizontal, devendo ter uma inclinação ascendente para a bomba;
- 6 – Deve evitar-se a entrada de corpos estranhos na tubagem de aspiração. Para isso deve instalar-se um sistema de filtragem;

Instalação, exploração e manutenção

Uma bomba centrífuga, se estiver instalada em boas condições e houver cuidados com a sua exploração e manutenção, tem uma duração bastante longa e geralmente livre de avarias. Os principais pontos a ter em vista são:

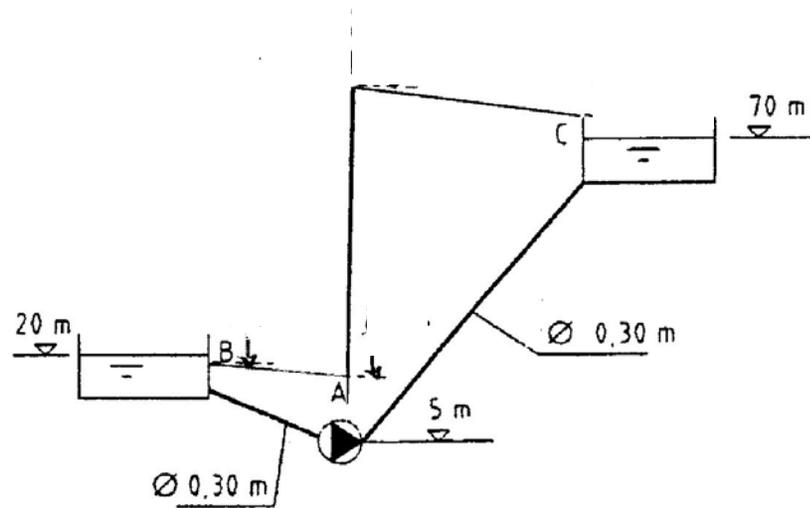
- 7 – Antes da bomba ser posta em funcionamento deve assegurar-se a lubrificação de acordo com as instruções do fabricante;
- 8 – Deve também garantir-se que a conduta de aspiração e bomba esteja ferrada (cheia de água) antes de ser posta em funcionamento.

Elementos necessários para a escolha de uma bomba centrífuga

- 1 – Esquema da instalação, cotado;
- 2 – Líquido a ser bombado e caudal;
- 3 – Impurezas e peso específico da solução;
- 4 – Tensão de vapor do líquido;
- 5 – Natureza do serviço (contínuo, intermitente, outros tipos).

Exercício 1

No sistema apresentado na Figura, a bomba A eleva 150 l/s de água do reservatório B para o reservatório C. Considerando que a perda de carga total entre B e A é de 3 m e entre A e C de 7 m, calcule a potência absorvida pela bomba sabendo que o seu rendimento é de 70 % e, represente a linha de energia.



Exercício 1

No sistema apresentado na Figura, a bomba A eleva 150 l/s de água do reservatório B para o reservatório C. Considerando que a perda de carga total entre B e A é de 3 m e entre A e C de 7 m, calcule a potência absorvida pela bomba sabendo que o seu rendimento é de 70 % e, represente a linha de energia.

$$Q = 150 \text{ l/s} = 0,15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$H_L = 3 + 7 = 10 \text{ m}$$

$$y = 50 \text{ m}$$

$$H = y + H_L$$

$$P_{\text{u}} = \rho g Q H$$

$$P_{\text{u}} = 9800 \times 0,15 \times (10 + 50)$$

$$P_{\text{u}} = 88200 \text{ W}$$

$$P_{\text{a}} = \frac{P_{\text{u}}}{\eta} = \frac{88200}{0,7} = 126000 \text{ W} = \underline{\underline{126 \text{ kW}}}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,15}{0,15^2 \times \pi} = \underline{\underline{2,122 \text{ m s}^{-1}}}$$

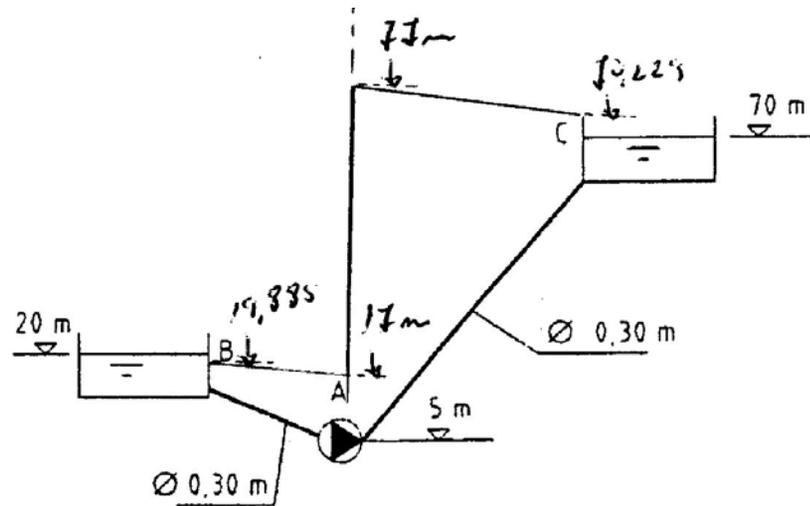


Figura 2

Exercício 2

Um grupo moto-bomba eleva 100 l s^{-1} de água através dum tubo ($i = 0.02 \text{ m/m}$) de 30 cm de diâmetro e 90 m de comprimento. A altura geométrica total é de 7.46 m. As perdas de carga singulares são avaliadas em 10% das perdas de carga contínuas. Sabendo que o rendimento da bomba é de 80% e o do motor de 88%, determine:

- a) A altura manométrica total;
- b) potência absorvida pelo motor.

Exercício 3

Uma estação de bombagem destina-se a elevar 63 l s^{-1} contra uma carga manométrica total de 46 m.

- a) Considerando o rendimento da bomba de 65%, qual a potência que terá de ser fornecida a esta?
- b) Considerando uma ligação directa motor-bomba e um rendimento de 85% para o motor, qual a energia consumida pelo grupo em 8 horas de funcionamento?