

52º Congresso Nacional de Saneamento ASSEMAE

Minicurso

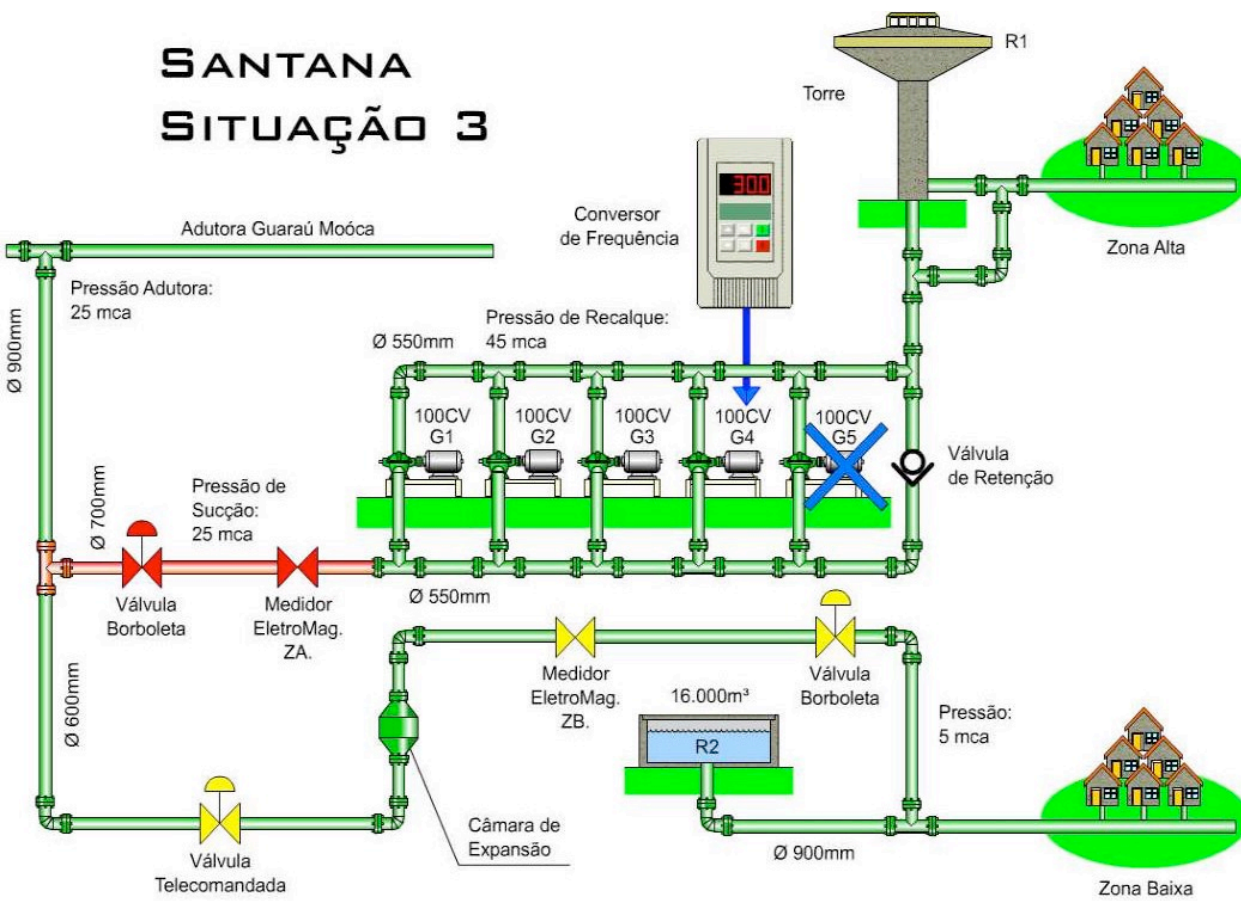
Eficiência Energética

Análises crítica de dados operacionais

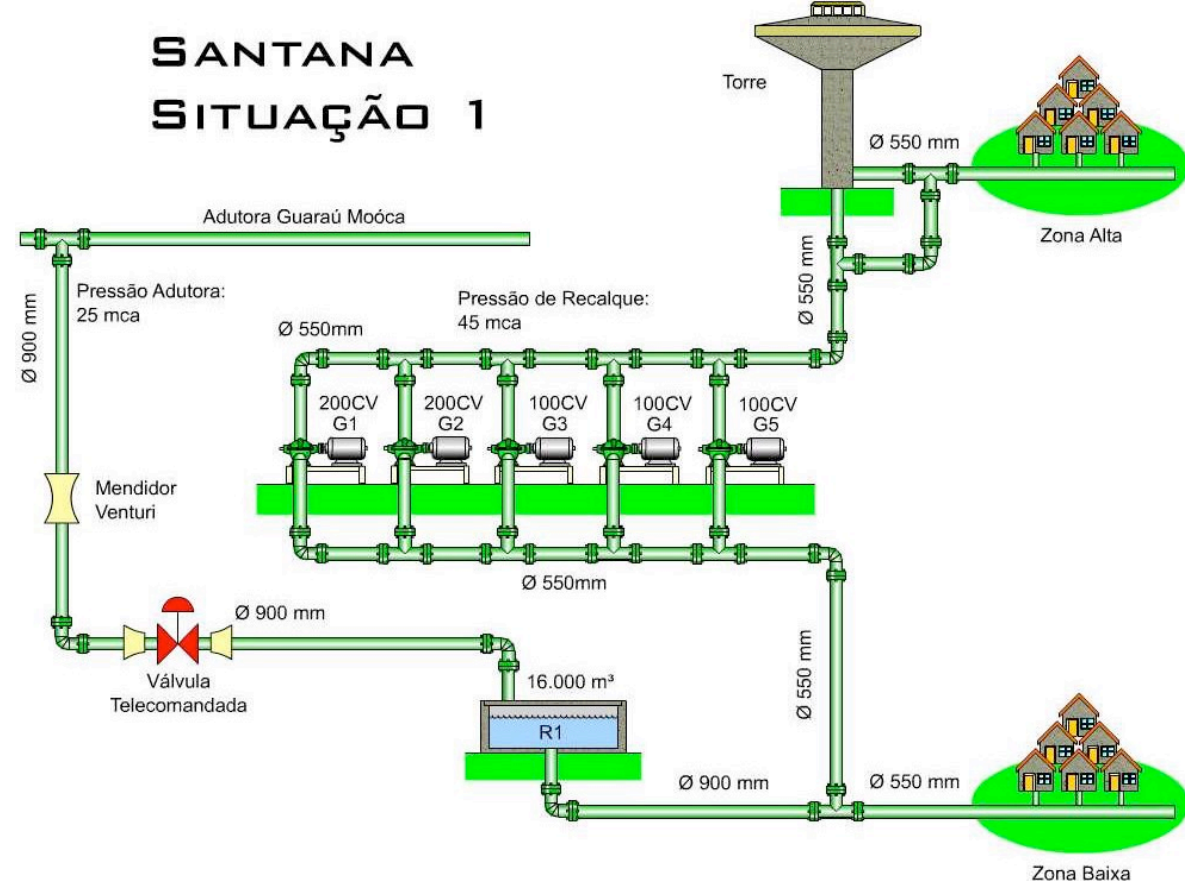
Hidráulica versus Elétrica

Revisão Conceitual

SANTANA SITUAÇÃO 3



SANTANA SITUAÇÃO 1



Lineu Andrade de Almeida

Eng. Civil e sanitaria

Laercio Pereira Cardoso

Eng. Eletricista

maio / 2024

Ribeirão Preto/SP

L. ALMEIDA
Consultoria & Gestão

Conteúdo:

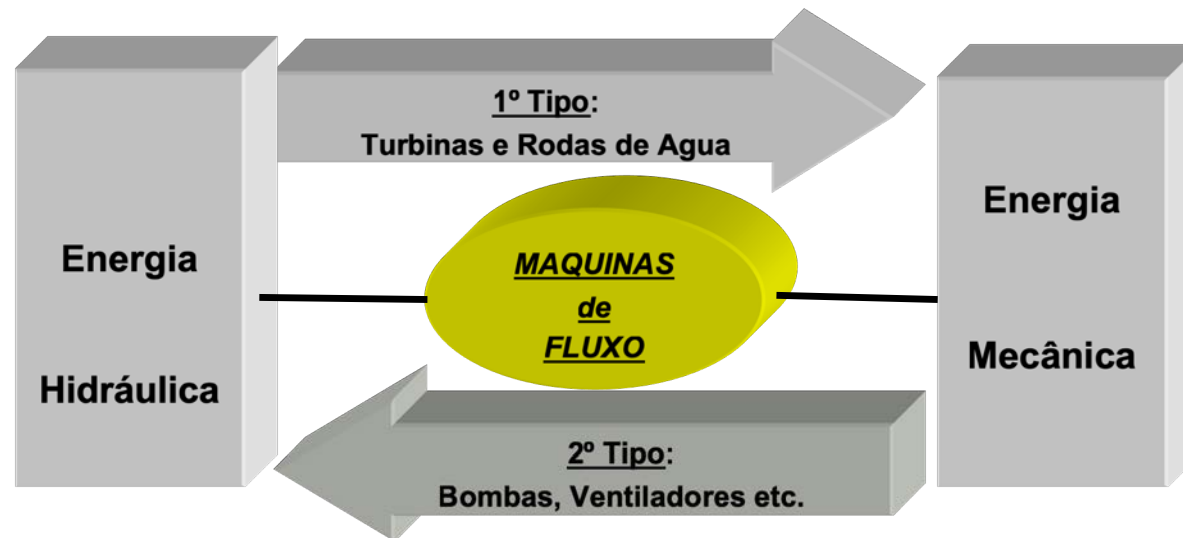
1. Máquinas de fluxo – Conceitos
 - 1.1. Fundamentos teóricos, e*
 - 1.2. Relações de semelhança.*
2. Instalações de recalque – aplicações.
 - 2.1. Associações de bombas em paralelo,*
 - 2.2. Associações de bombas em serie*
3. Eficiência Energética – Oportunidades de economia
4. Medições de Campo
5. Transformações e Transporte de Energia
6. Estudo de caso - Aplicação

I. Máquinas de fluxo ***...Conceitos***

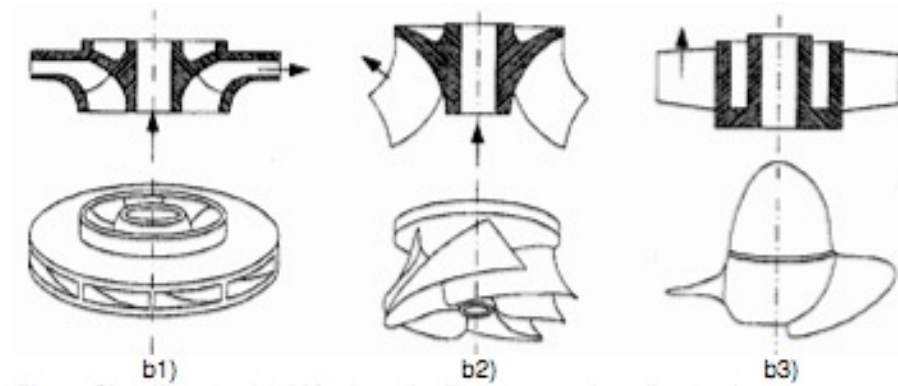
São equipamentos que possibilitam a transferência de energia entre um líquido e um dispositivo mecânico.

1º tipo: Constitui-se daqueles que retiram a energia mecânica do líquido e produzem certo trabalho. São eles, as turbinas e as rodas de água.

2º tipo: Constitui-se daqueles que transferem energia mecânica para o líquido e que gastam para isso certo trabalho que lhes é fornecido. São eles, as bombas hidráulicas, ventiladores, sopradores, compressores entre outros.



Classificação conforme a direção do fluxo



b.1) RADIAL: O fluxo é predominantemente radial.

... Exemplo: bombas centrífugas.

b.2) MISTAS: O fluxo é diagonal, ou seja é, parte axial e parte radial.

... Exemplo: turbina Francis.

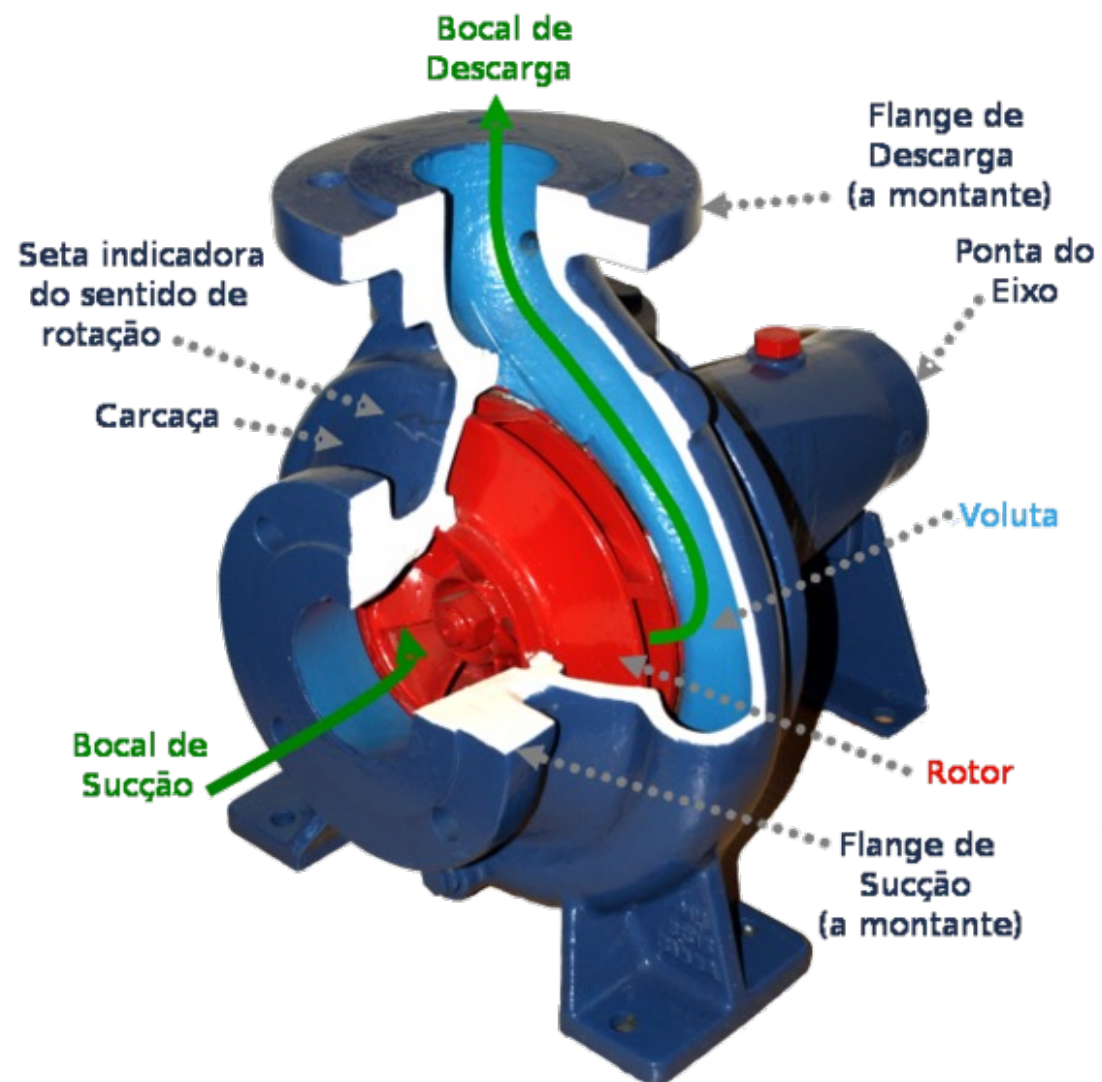
b.3) AXIAL: O fluxo é axial.

... Exemplo: ventiladores axiais, hélices.

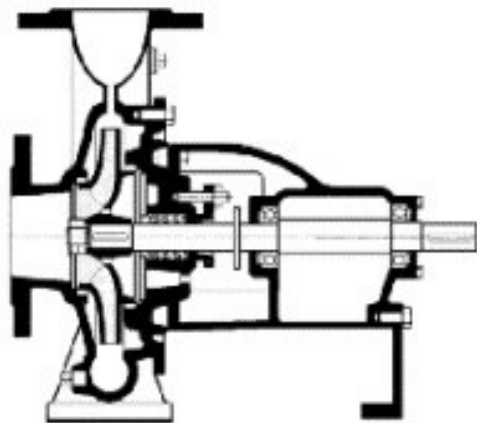
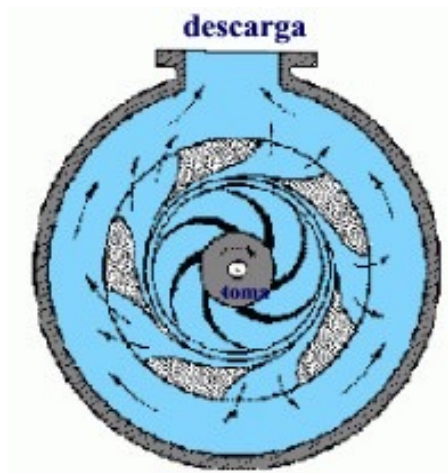
Bombas centrífugas fluxo radial



Bombas centrífugas fluxo radial



Bombas centrífugas



Bomba axial

I.I. Fundamentos teóricos

**Principais grandezas físicas
interveniente no fenómeno físico ...**

ρ ... Massa específica do fluido

N ... Rotação do rotor

D ... Diâmetro do rotor da máquina de fluxo

Δp . Diferença de pressão nas secções de entrada e saída do rotor

Q ... Vazão em volume da máquina de fluxo

Pot . Potencia consumida ou gerada pela máquina de fluxo.

Da análise dimensional,
saem os **adimensionais** ...

$$\frac{\Delta p}{\rho \cdot N^2 \cdot D^2} = \left[\frac{g \cdot H_m}{N^2 \cdot D^2} \right] \Rightarrow C_H \text{ Coeficiente de pressão ou manométrico}$$

$$\left[\frac{Q}{N \cdot D^3} \right] \Rightarrow C_Q \text{ Coeficiente de vazão}$$

$$\left[\frac{Pot}{\rho \cdot N^3 \cdot D^5} \right] \Rightarrow C_W \text{ Coeficiente de potencia}$$

Da combinação dos adimensionais C_W , C_Q e C_H , resulta o adimensional
 η (rendimento),

$$\frac{C_W}{C_Q \cdot C_H} = \eta$$

η caracteriza a eficiência da máquina de fluxo

No adimensional (η) está considerada as perdas de potencia que ocorrem nas máquinas de fluxo ...

$$\eta = \frac{C_W}{C_Q \cdot C_H} = \frac{Pot}{\gamma \cdot H_m \cdot Q} \dots \text{Rendimento para } \underline{\text{Turbina}}$$

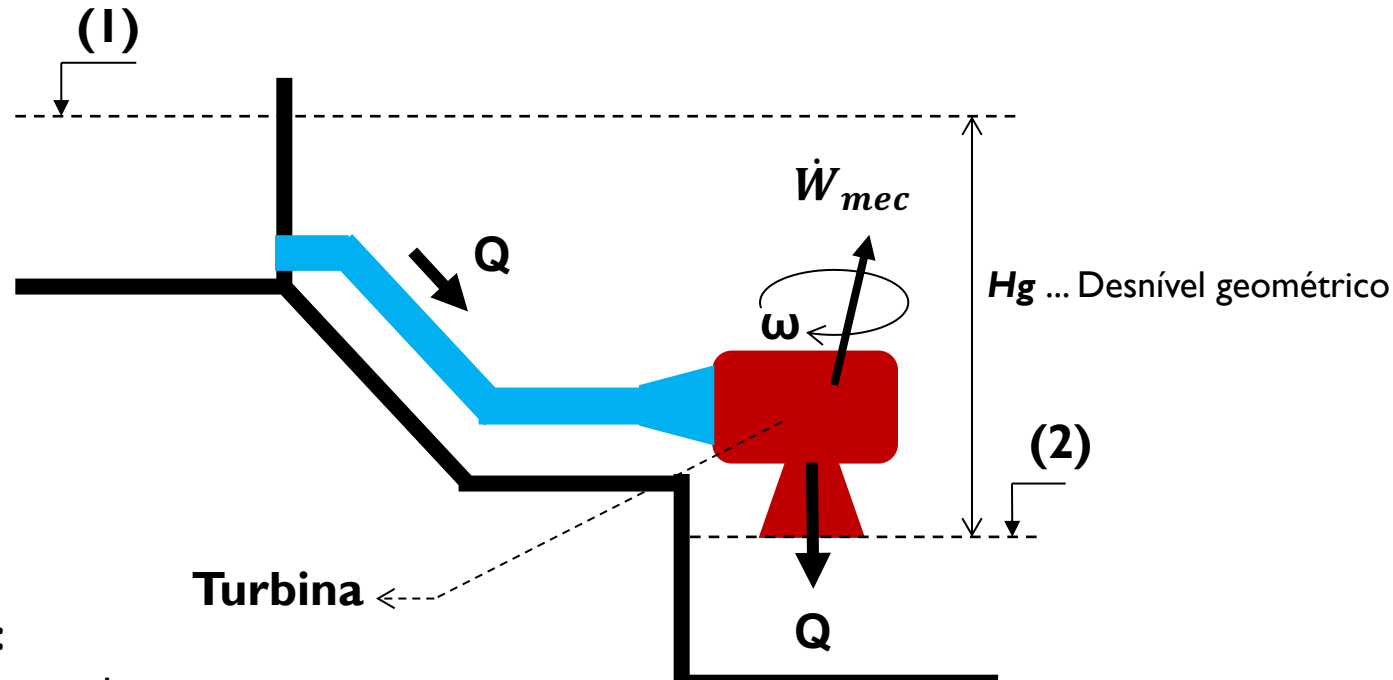
$$\eta = \frac{C_Q \cdot C_H}{C_W} = \frac{\gamma \cdot H_m \cdot Q}{Pot} \dots \text{Rendimento para } \underline{\text{Bomba}}$$

Formulas usuais de Potência

Para turbinas..... $Pot = \gamma \cdot Q \cdot H_m \cdot \eta$

Para **Bombas**..... $Pot = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{\eta}$

Turbina ... Geração de trabalho mecânico



Nota:

Considerando que a troca de calor é desprezível

$$\rho(u_2 - u_1) = \Delta p = k \cdot Q^2$$



$$\dot{W}_{mec.} = Q(\rho g H_g - k \cdot Q^2)$$

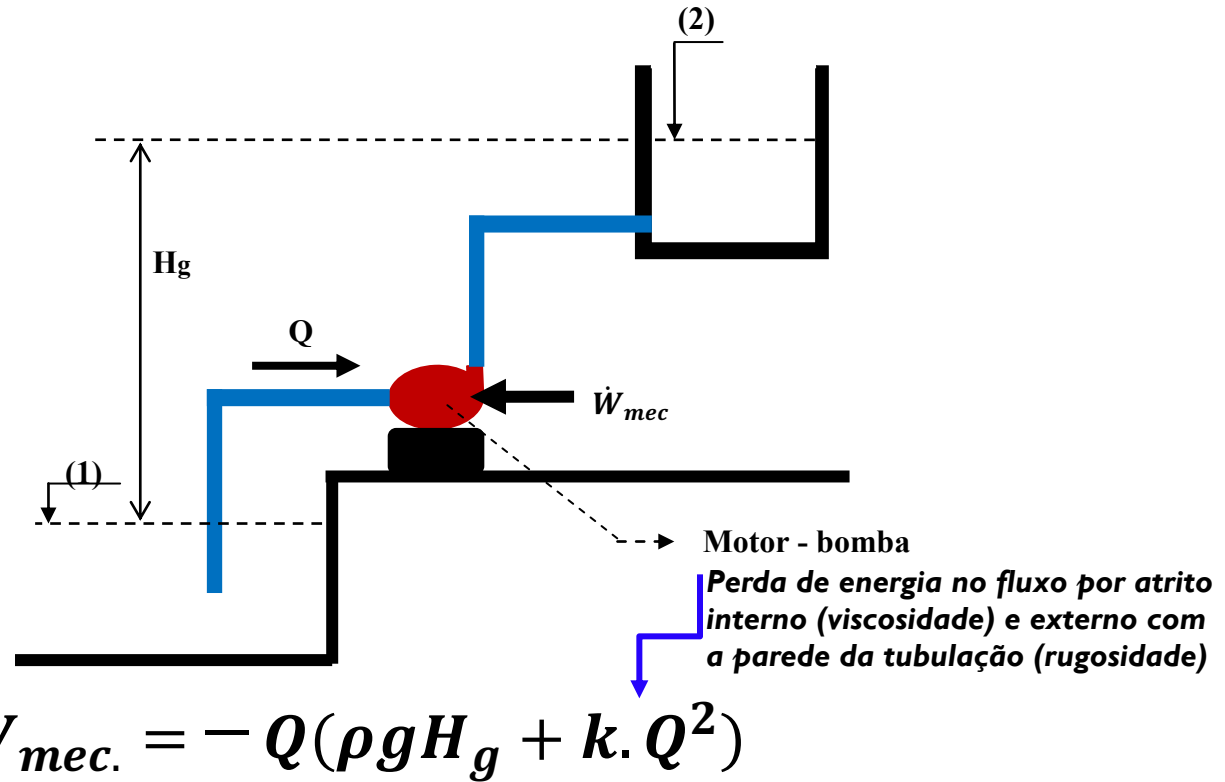
Perda de energia no fluxo por atrito interno (viscosidade) e externo com a parede da tubulação (rugosidade)

A água cede energia ...

Obs.: Trabalho gerado (liquido real) ... $\dot{W} = \gamma \times Q \times (H_g - \Delta h_{total}) \times \eta$

Bomba ... Geração de trabalho hidráulico

Nota:
 Considerando que a troca
 de calor é desprezível
 $\rho(u_2 - u_1) = \Delta p = k.Q^2$



A água recebe energia

Obs.: Trabalho recebido (liquido real) ... $\dot{W} = \frac{\gamma \times Q \times (H_g + \Delta h_{total})}{\eta}$

Rotação (ou velocidade) específica (N_q)

Corresponde a rotação (em rpm) do rotor da bomba, de uma serie homologa, geometricamente similares, que **eleva** uma unidade de vazão (1,0 m³/s) sob uma altura total unitária (1,0 m) ou, como a rotação (em rpm) de um rotor da bomba, de uma serie homologa, geometricamente similar, **desenvolve** uma unidade de potência sob uma altura total unitária)

Da relação entre C_Q C_H que se eleva a expoentes tais que eliminam a variável D ...

$$\left(\frac{Q}{N \cdot D^3}\right)^2 \times \left(\frac{N^2 \cdot D^2}{g \cdot H_m}\right)^3 = N_q \quad \rightarrow \quad N_q = \frac{Q^2 \cdot N^6 \cdot D^6}{N^2 \cdot D^6 \cdot g^3 \cdot H_m^3}$$

$$N_q = \frac{Q^2 \cdot N^4}{g^3 \cdot H_m^3} \Rightarrow N_q = \sqrt[4]{\frac{Q^2 \cdot N^4}{g^3 \cdot H_m^3}} \Rightarrow N_q = \frac{N \cdot \sqrt{Q}}{(g \cdot H_m)^{\frac{3}{4}}}$$

Analogamente , se a relação for feita em função a potencia (N_s) ...

$$N_s = \frac{N \cdot \sqrt{Pot}}{(g \cdot H_m)^{\frac{5}{4}}}$$

**As equações anteriores das rotações específicas
(ou velocidades específicas) são adaptadas conforme segue:**

$$N_q = \left[\frac{N \cdot \sqrt{Q}}{(H_m)^{\frac{3}{4}}} \right] \text{Com: } [N \text{ (rpm), } Q \text{ (m}^3\text{/s) e } H_m \text{ (m)}] \text{ ou } [N \text{ (rpm), } Q \text{ (gpm) e } H_m \text{ (ft)}]$$

$$N_s = \left[\frac{N \cdot \sqrt{Pot}}{(H_m)^{\frac{5}{4}}} \right] \text{Com: } [N \text{ (rpm), } Pot \text{ (cv) e } H_m \text{ (m)}] \text{ ou,}$$

$$N_s = \left[\frac{1,17 \cdot N \cdot \sqrt{Pot}}{(H_m)^{\frac{5}{4}}} \right] \text{Com: } [N \text{ (rpm), } Pot \text{ (Kw) e } H_m \text{ (m)}]$$

Notas:

- A velocidade específica **N_q** ou **N_s** é um índice adimensional de projeto que identifica a semelhança de geometria das bombas e é utilizada para classificar os rotores de acordo a seus tipos e proporções.
- Bombas de mesmo **N_q** ou **N_s** mas de tamanhos diferentes são consideradas geometricamente semelhantes mesmo sendo uma bomba um tamanho múltiplo da outra.
- A velocidade específica é calculada no ponto de melhor eficiência da bomba e com o rotor máximo.

1.2. Relações de Semelhança

Para las **maquinas hidráulicas** se utiliza la teoría de la similitud entre el modelo en escala reducida y el prototipo...

A partir de los adimensionales definidos (C_W , C_Q y C_H), y como ellos son constantes para las familias homologas salen las relaciones ...

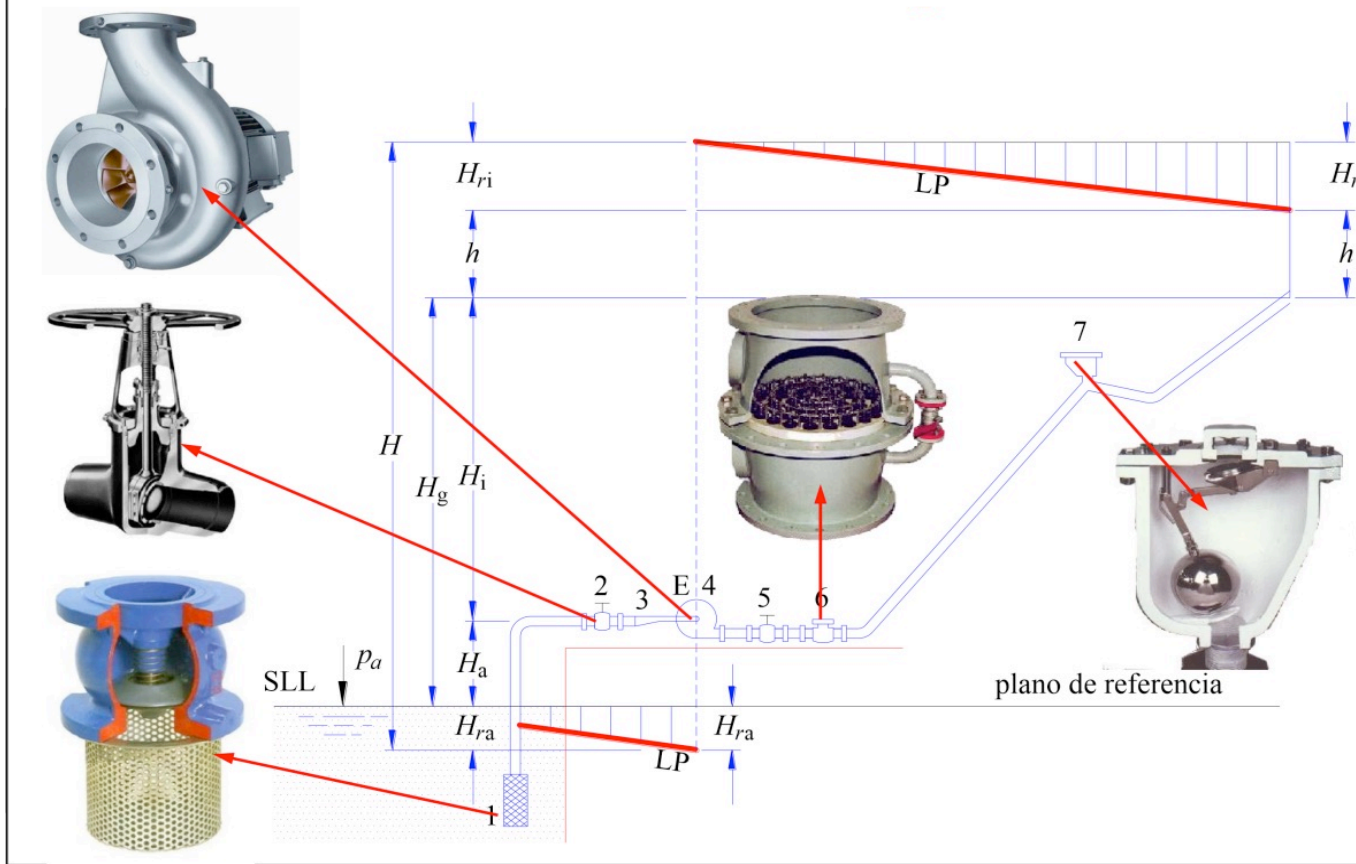
$$\text{Constante} \Rightarrow \frac{H_{m1}}{N_1^2 \cdot D_1^2} = \frac{H_{m2}}{N_2^2 \cdot D_2^2} \Rightarrow \frac{H_{m1}}{H_{m2}} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$

Analogamente;

$$\text{Constante} \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right) \cdot \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$$

$$\text{Constante} \Rightarrow \frac{Pot_1}{Pot_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \cdot \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5$$

Elementos essenciais de uma instalação de recalque...



2. Instalações de recalque

...aplicações

Curva característica do sistema

O traçado da curva do sistema é construído pelos pontos plotados no gráfico representados pelos pares (**Q** e **H_m**) para os diversos valores de vazão **Q**

A altura manométrica (**H_m**) é representada pela expressão a seguir;

$$H_m = H_g + \Delta h_{\text{totais}}$$

Onde:

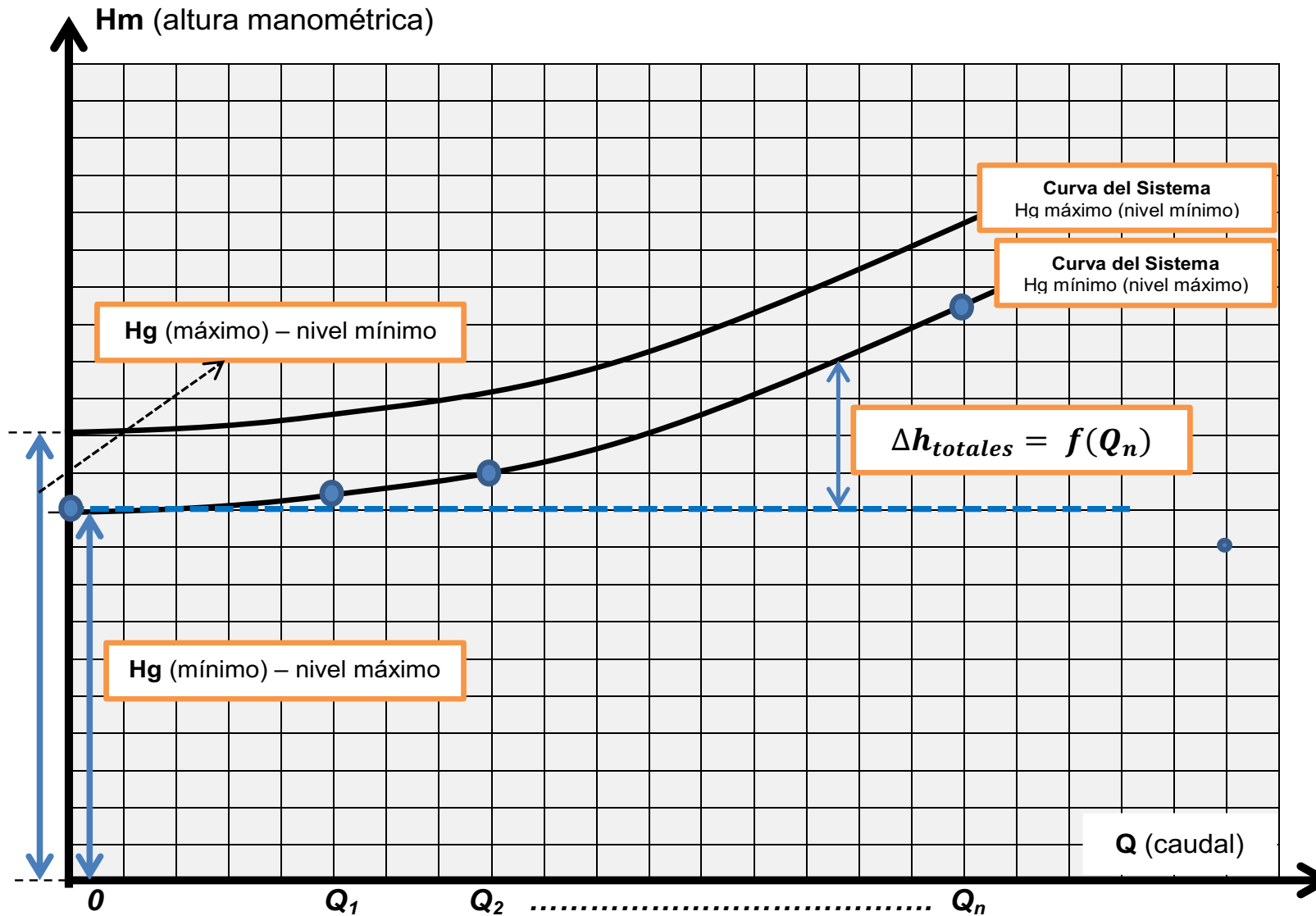
H_g... desnível geométrico (diferença entre o nível da sucção e o nível de chegada do recalque).

Δh_(totais)... São as perdas calculadas na sucção e no recalque.

Exemplo ...

Q (vazão)	$H_m = H_g + \Delta h_{\text{totais}}$
0 (zero)	H _g
Q ₁	H _g + Δh _{totais} f(Q ₁)
Q ₂	H _g + Δh _{totais} f(Q ₂)
.....
Q _n	H _g + Δh _{totais} f(Q _n)

Construcción de la gráfica:



A energia consumida será:

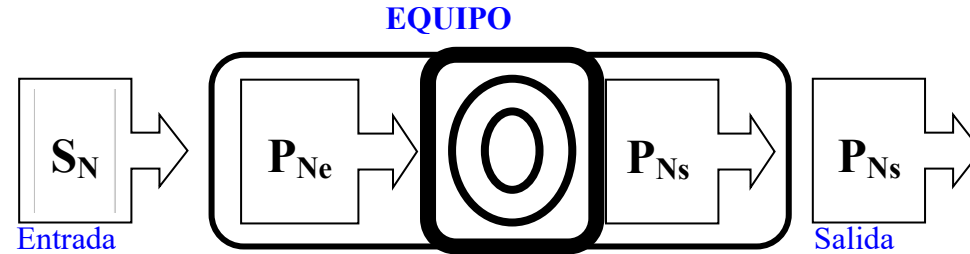
$$\mathbf{Energia = Potencia \times Tempo}$$

Portanto, a quantidade de horas no dia em que a bomba estiver funcionando representará seu consumo diário em **Kwh** em termos de **potência ativa**, o que multiplicado por 30 dias e dividido pelo **fator de potencia** do motor da bomba se terá a **potência de entrada (potência aparente)** e portanto a estimativa do fornecimento mensal de energia eléctrica para o qual deverá ser dimensionada a entrada de energia (especificação dos transformadores).

Fator de potencia (FP) ...

é o cosseno do angulo da defasagem entre a **corrente (I)** e a **tensão (V)**

Potencia Nominal de saída de um equipamento... $P_{Ns} = S_N \times \cos \varphi \times \eta$



S_N é a potencia aparente da entrada de um equipamento em (VA ou KVA)

P_{Ne} é a potencia nominal ativa da entrada no equipamento em (w ou Kw)

P_{Ns} é a potencia nominal ativa de saída do equipamento em (w ou Kw)

Dados do equipamento:

Fator de potencia = $\cos(\varphi)_N$

Rendimento do equipamento ... $\eta = P_{Ns}/P_{Ne}$

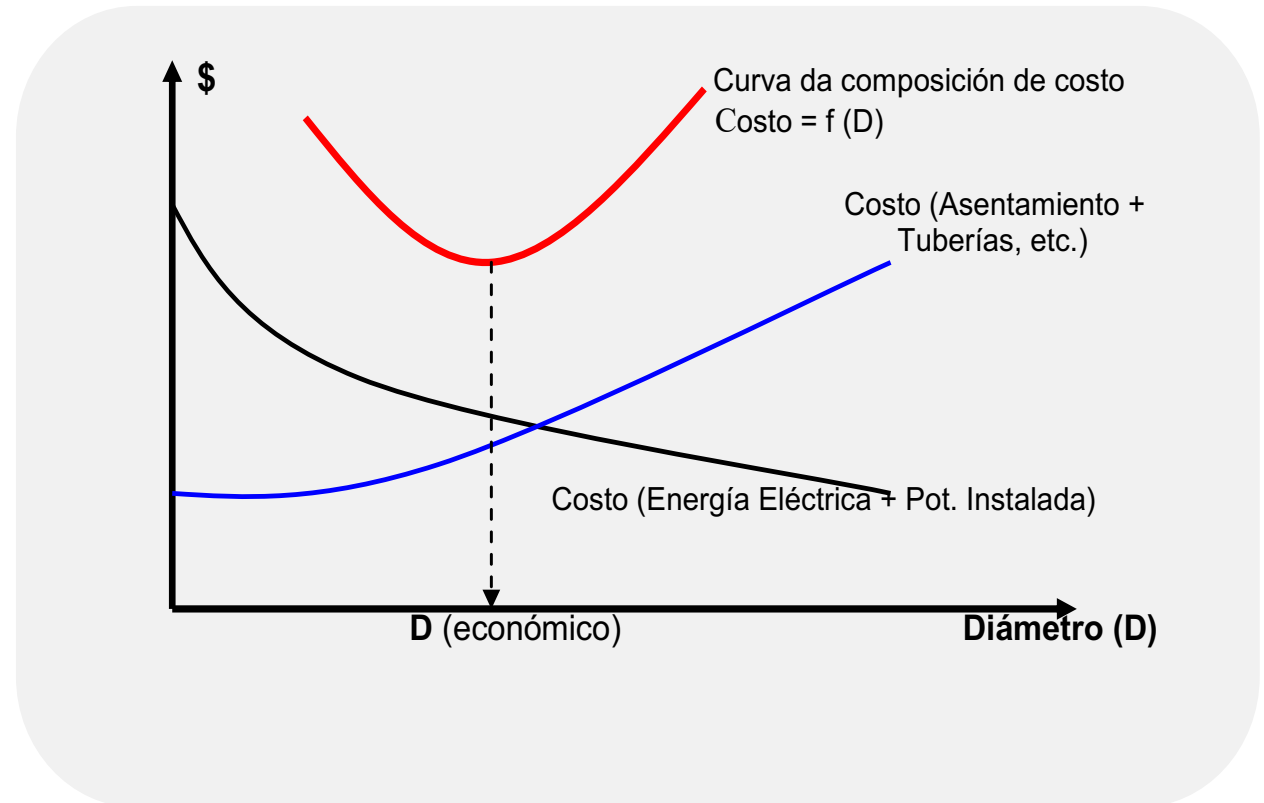
Potencia aparente (entrada: fornecida pela concessionaria de energia elétrica)

$$S_N = P_{Ne} / \cos(\varphi)_N \dots \dots \dots \text{ em VA ou KVA}$$

Dimensionamento econômico ...

Nota:
Recomendação de
velocidades máximas
na sucção

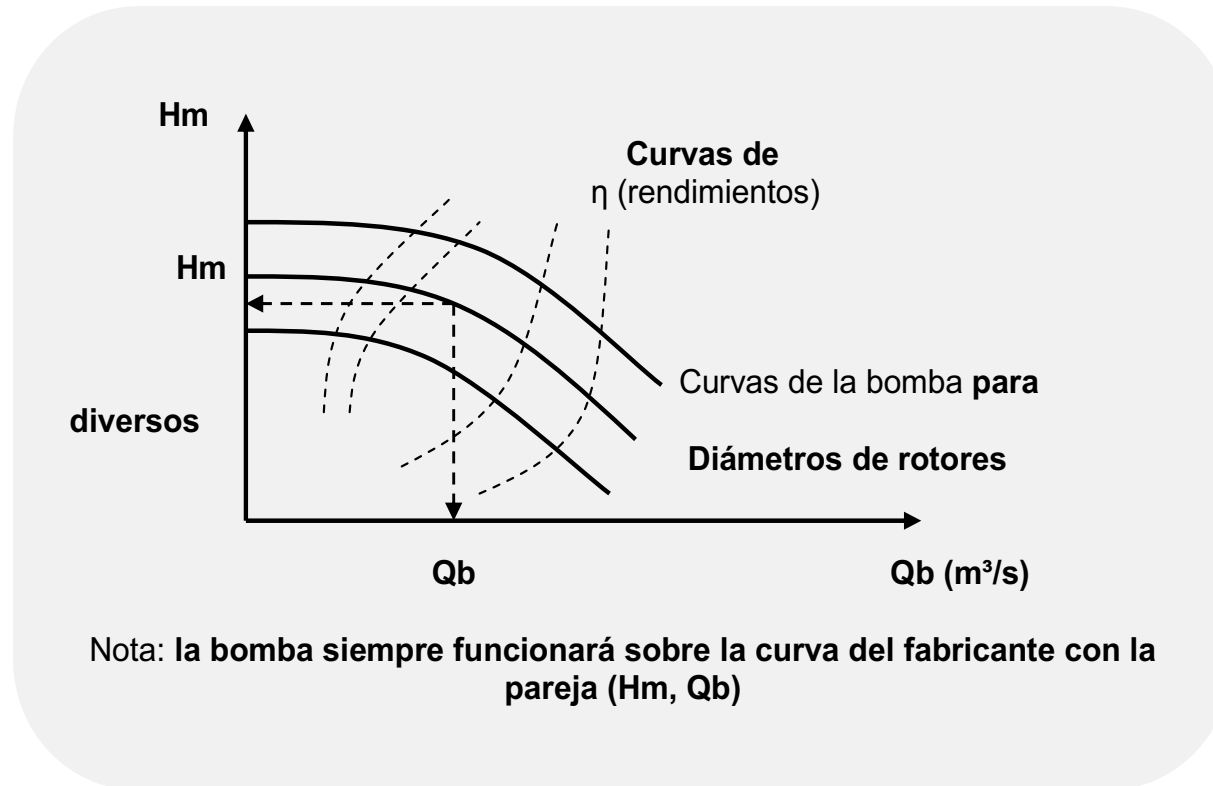
Diâmetro nominal Φ (suc.) em (mm)	Velocidade máxima (m/s)
50	0,70
75	0,80
100	0,90
150	1,00
200	1,10
250	1,20
300	1,40
≥ 400	1,50



A velocidade mínima é de **0,60 m/s**.

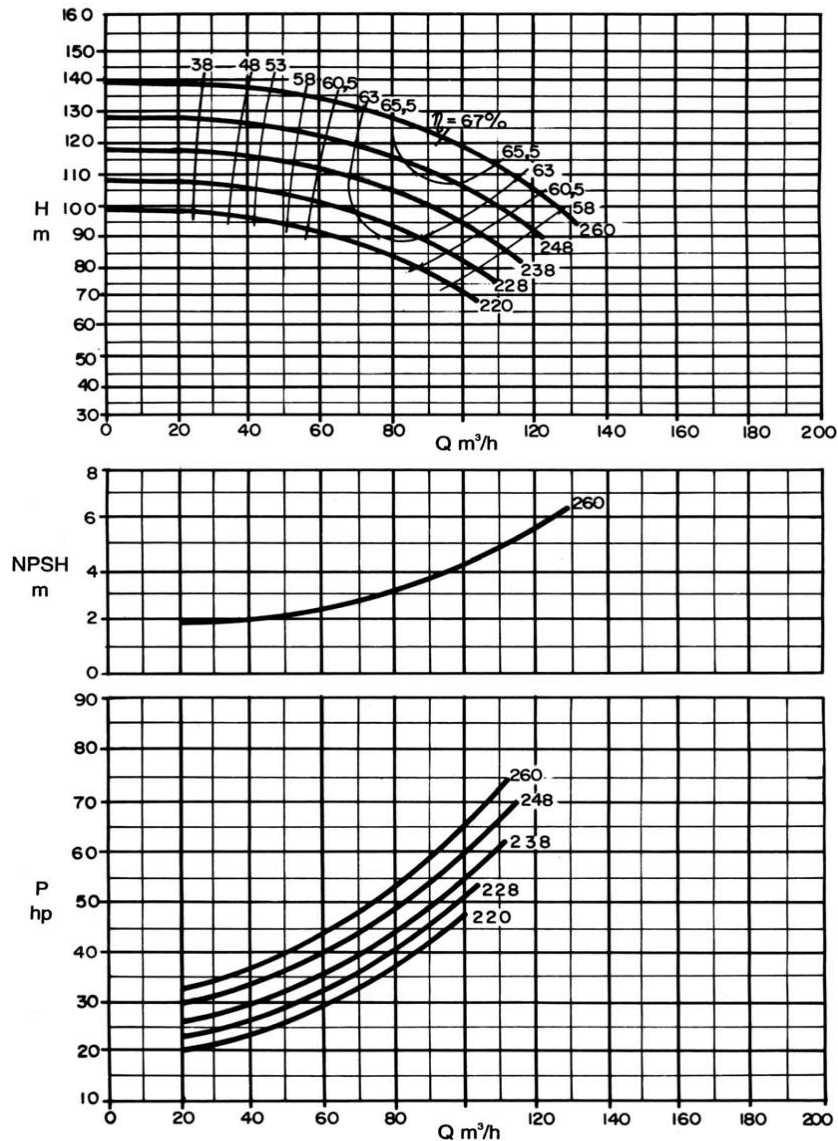
Escolha da bomba (catálogo do fabricante)

Desenho genérico:



O que se deve fazer, é escolher a bomba que tenha aderência ao caso estudado e associar a curva do sistema com a curva da bomba de modo a lograr-se que seu funcionamento seja em um range de máximos rendimentos.

Exemplo de curva de bomba fornecida por um fabricante:



Nota:

Os fabricantes de bombas fornecem as características das bombas, a rotação e suas curvas relacionadas às famílias de rotores e curvas de rendimentos além do NPSH requerido e da potencia para cada ponto considerado de vazão e altura manométrica.

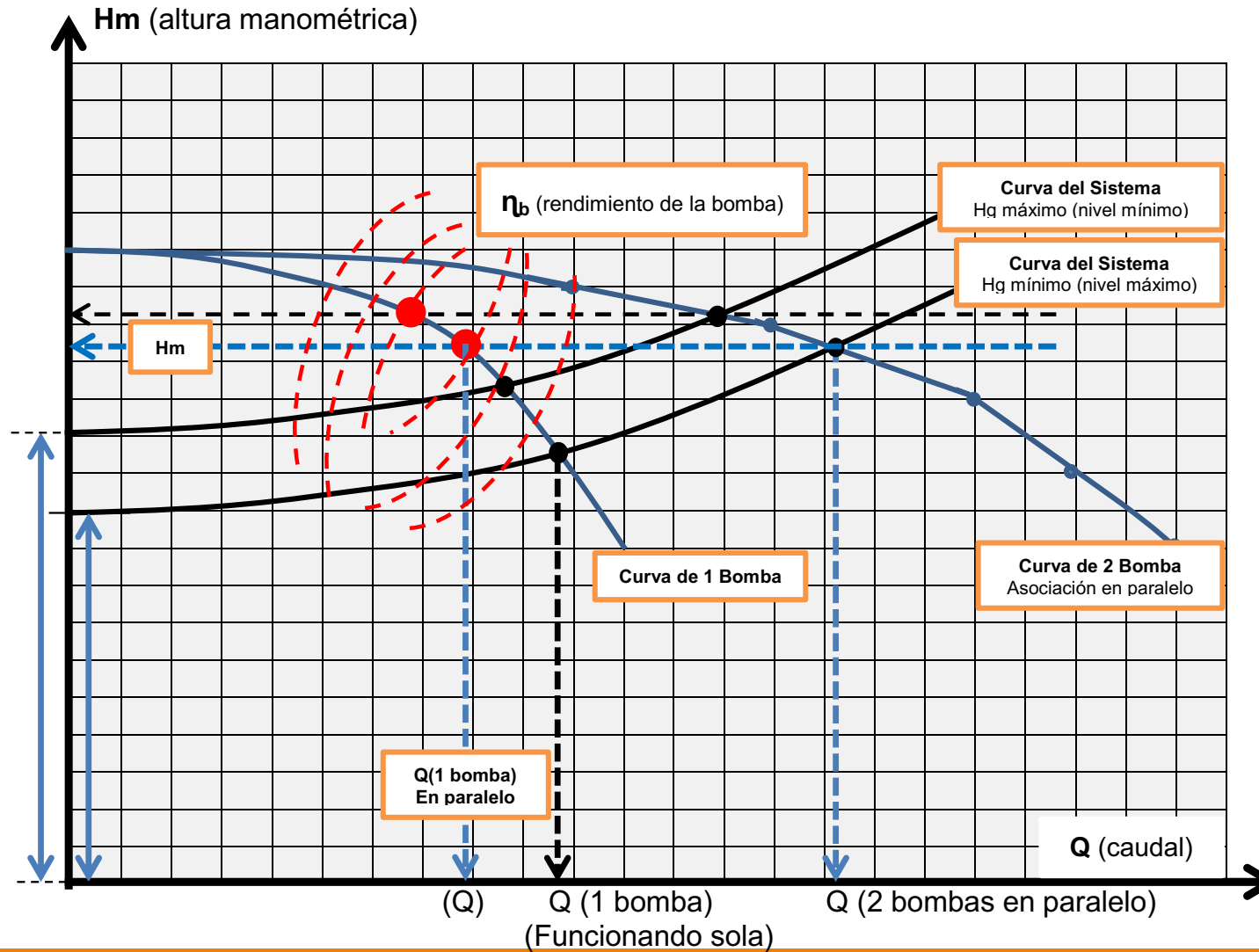


...as curvas se somam na horizontal

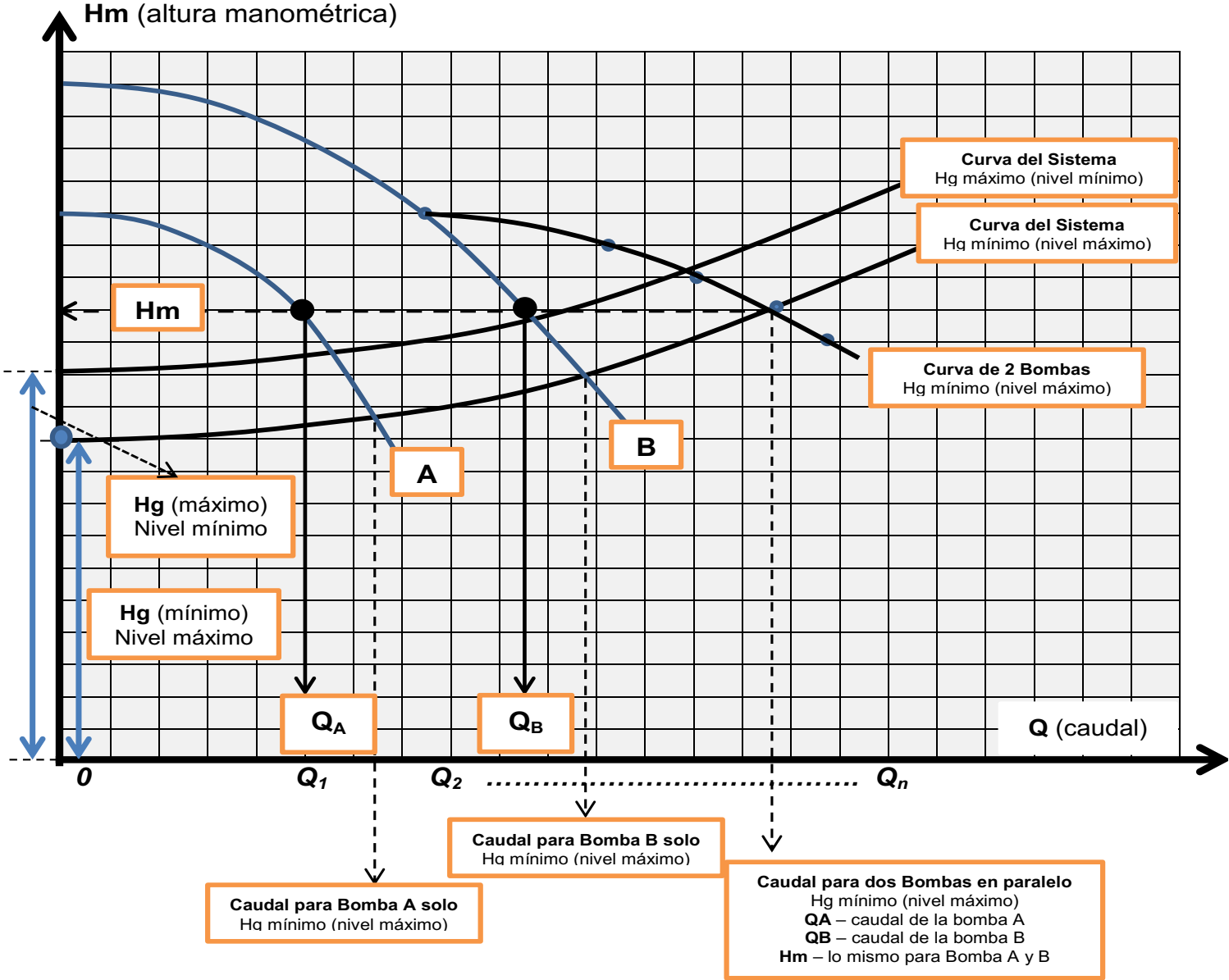


2.1. Associação de Bombas em paralelo

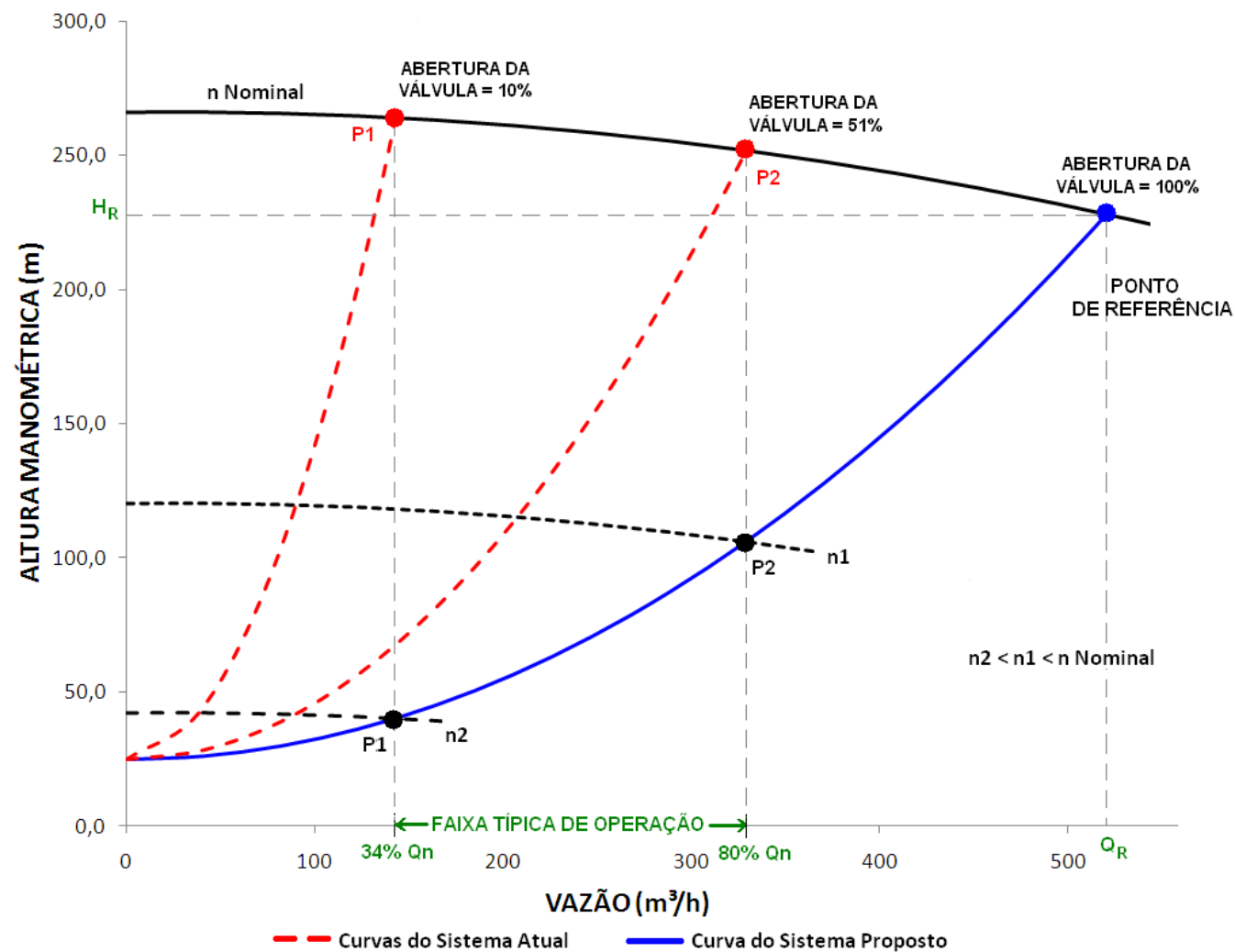
Caso de bombas iguais:



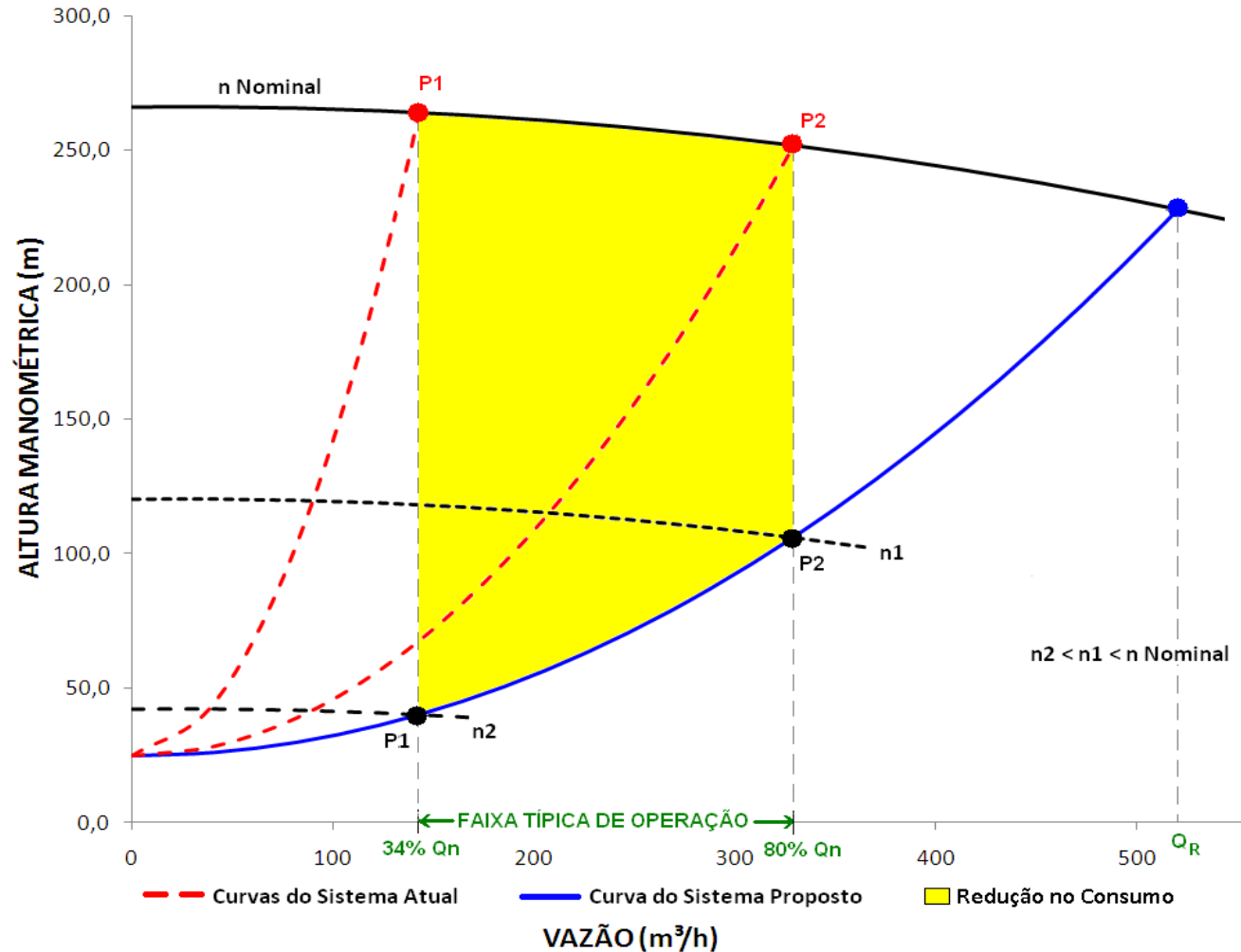
Caso de bombas diferentes:



Variação de vazão por fechamento parcial de válvulas ...



Existem equipamentos a ser acoplados às instalações de bombeamento que resultam em economia de energia ...

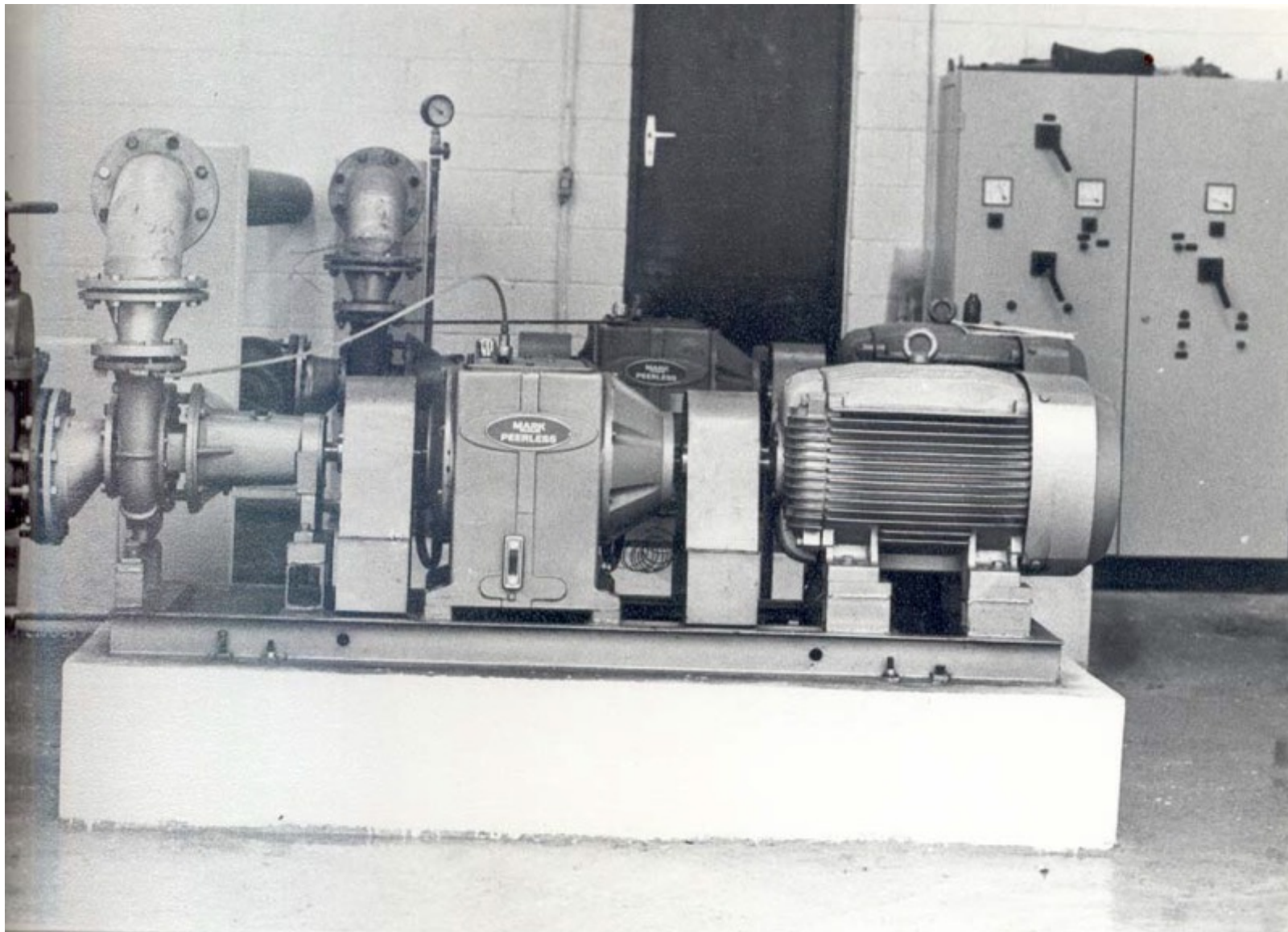


$$N_s(\text{rpm}) = \frac{120 \times f}{n_{\text{polos}}}$$

N_s = rotação síncrona em rpm

f = frequência em Hz

$n(\text{polos})$ = número de polos (2, 4, 6, 8 ou mais)



Variador de velocidade de 75HP do fabricante Mark-Peerless

ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ÁGUA



**Booster com variador hidrocínético
instalado na Conceição, RMSP.**



**Booster com inversor de frequência
instalado no Portal D'Oeste, RMSP**



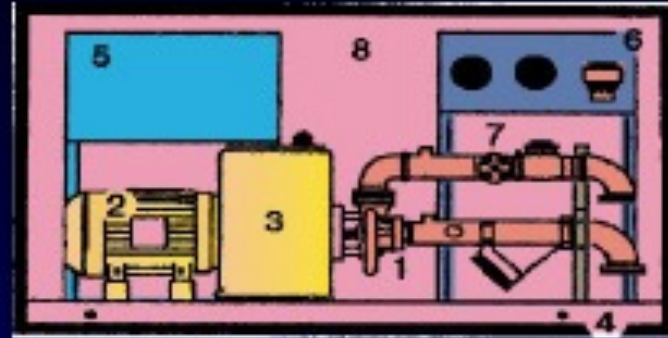
**Instalações do booster Vitápolis com
inversor de frequência, RMSP**



**Instalações do booster Munhoz Junior
no passeio, RMSP**

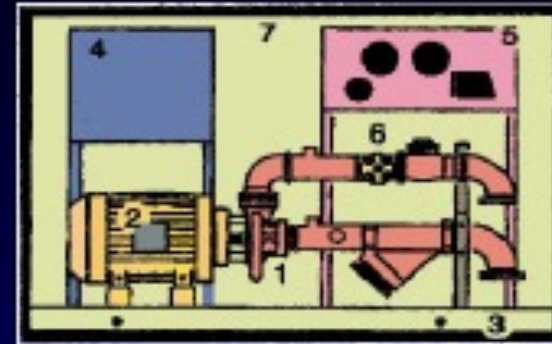
ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ÁGUA

Componentes de um booster com variador de rotação hidrocínético



- (1) Bomba centrífuga
- (2) Motor elétrico
- (3) Variador hidrocínético
- (4) Base metálico para o conjunto
- (5) Painel de comando
- (6) Pressostatos para operação automática
- (7) Registros
- (8) Proteção metálica, com tratamento especial anticorrosivo, resistente para trabalhar ao tempo

Componentes de um booster com inversor de frequência



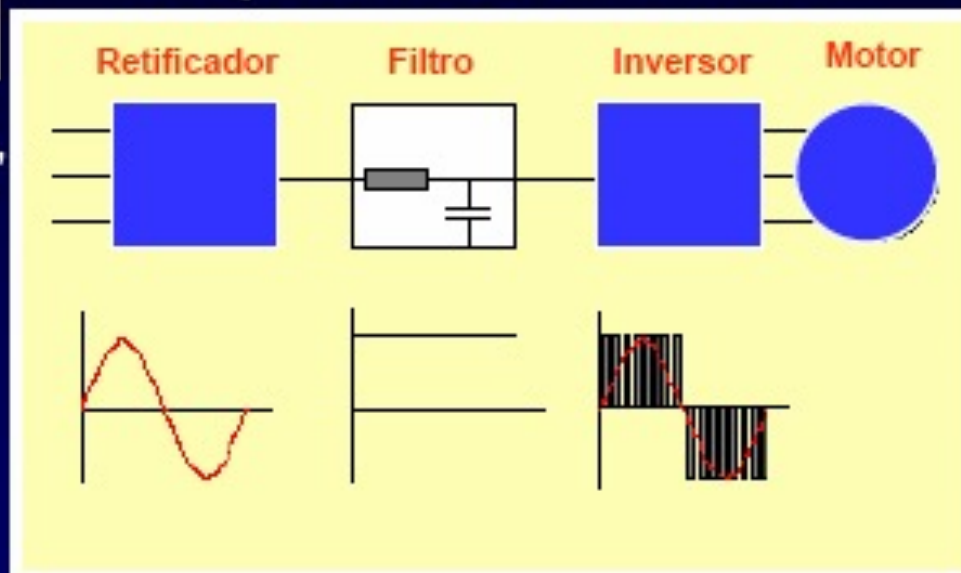
- (1) Bomba centrífuga
- (2) Motor elétrico
- (3) Base metálica para o conjunto
- (4) Painel de comando, incluindo inversor de frequência
- (5) Painel de controle automático de pressão
- (6) Registros
- (7) Proteção metálica, com tratamento especial anticorrosivo, resistente para trabalhar ao tempo



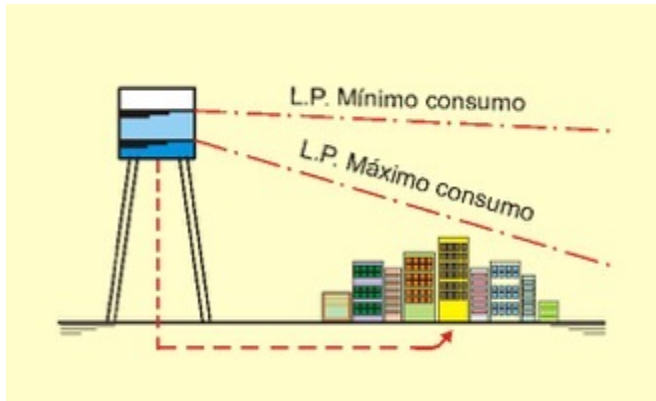
INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Componentes de um inversor

Rede de alimentação,
tensão e frequências
fixas



Exemplo de gestão de pressão com conversor de frequência: Setor Suzano Zona Alta



- Abastecimento por conjunto de 2 bombas (Media: 563 m³/h e recalque de 46 mca)
- 242 km de rede de água
- 17,3 mil ligações



- **Instalação de conversores de frequência:** equipamento electrónico, variador de velocidade da rotação do motor

**Conversor de
Frequência**



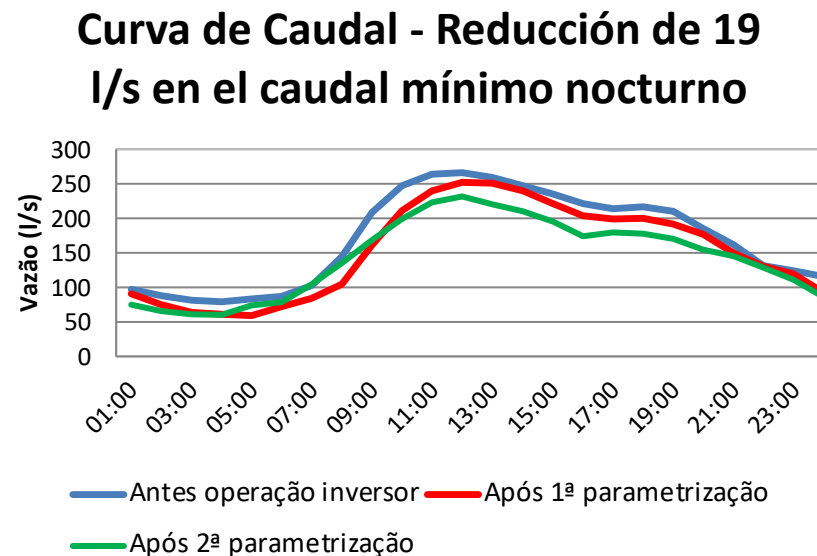
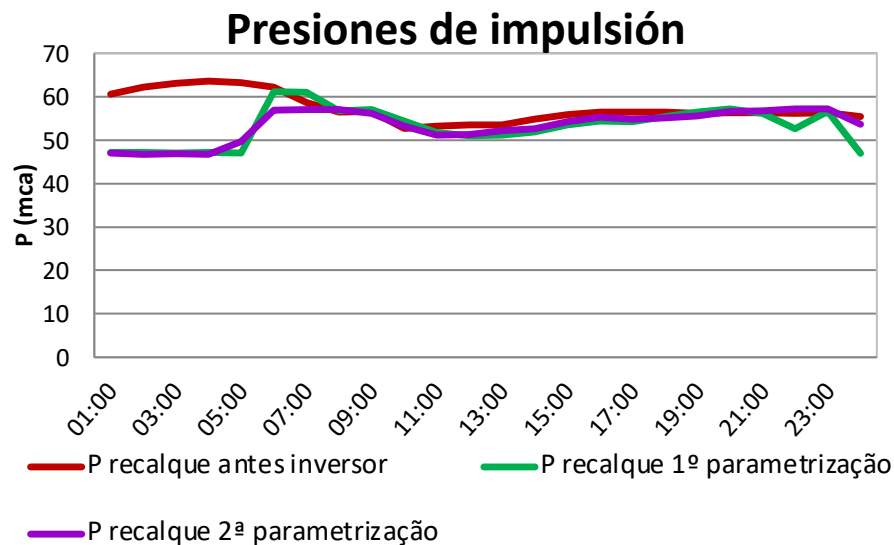
**Chave
compensadora**



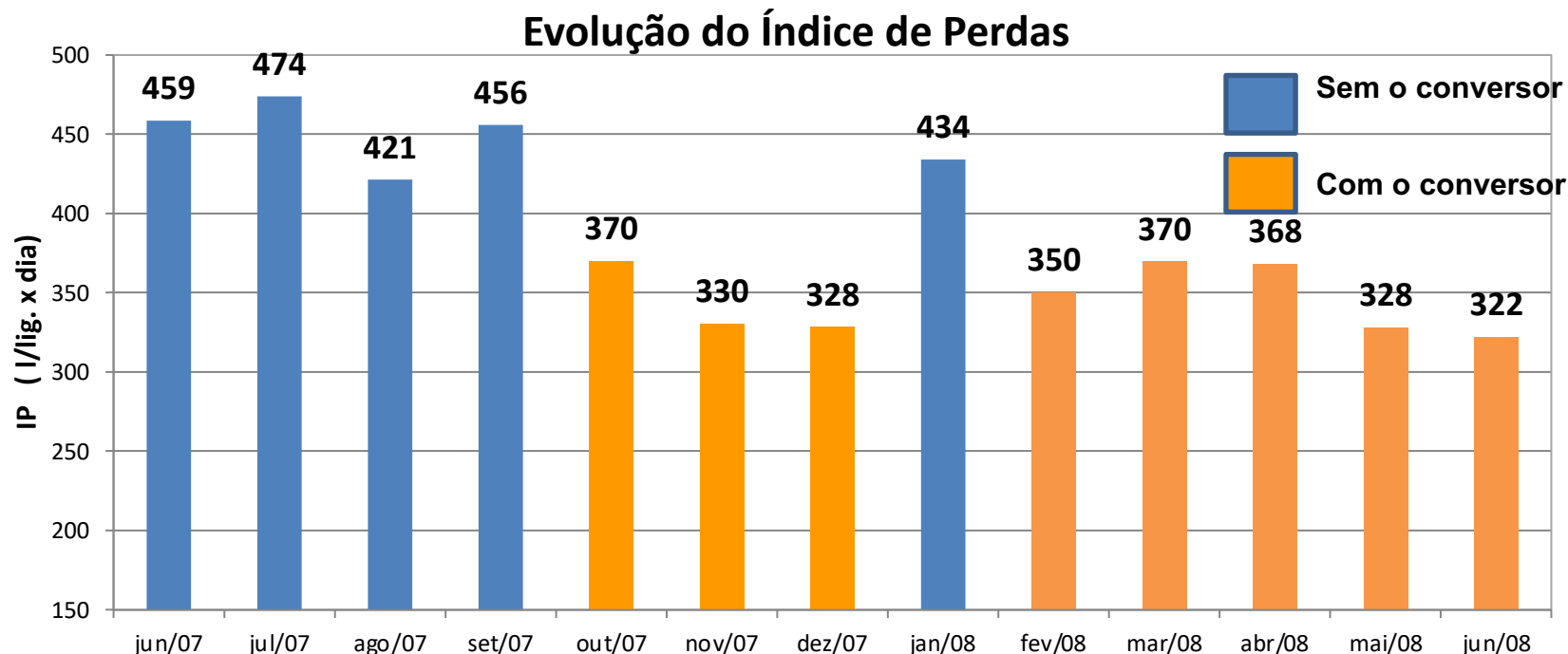
Exemplo de gestão de pressão com conversor de frequência: Setor Suzano Zona Alta

Metodologia aplicada:

- *Análises dos dados da pressão (bombeamento e pontos críticos do sector), com a instalação de “data loggers” por 7 dias*
- *Definição das novas pressões de bombeamento durante a madrugada, programação nos conversores*
- *Novo monitoramento e ajustes na programação*



Exemplo de gestão de pressão com conversor de frequência: Setor Suzano Zona Alta



Resultado Financeiro: investimento de US\$ 188 mil e retorno em 11 meses

Impacto	Antes	Depois	Redução Mensal	FINANCEIRO (US\$/mês)
Energia Elétrica (kWh / mês)	117.748	98.416	19.332	1,7 mil
Caudal bombeado (m ³ / mês)	440.451	392.876	47.575	16,6 mil
Economia mensal total				18,3 mil

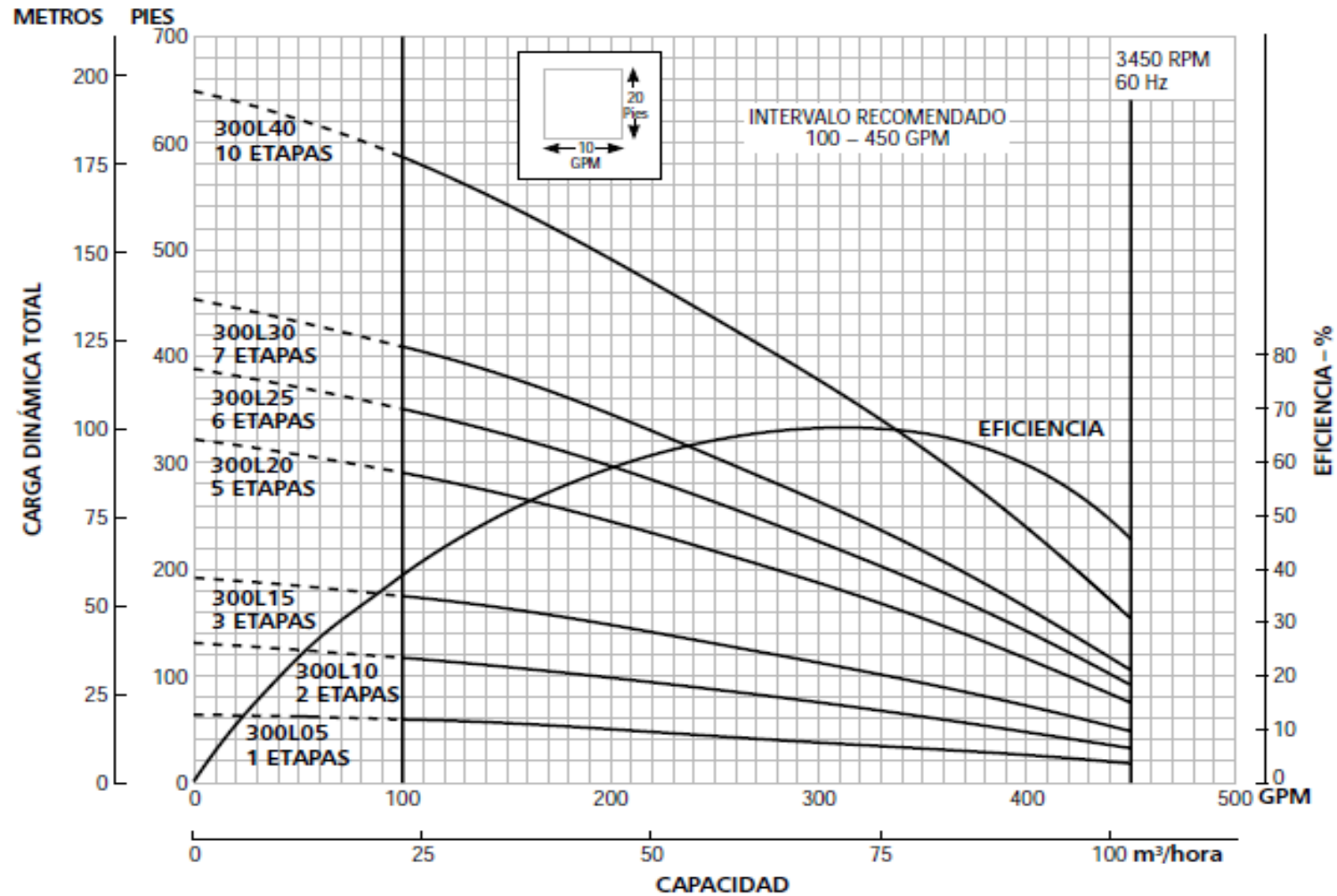


...as curvas se somam na Vertical

2.2. Associação de Bombas em serie

Exemplo típico: Curvas de Bombas de Poços

Modelo 300L



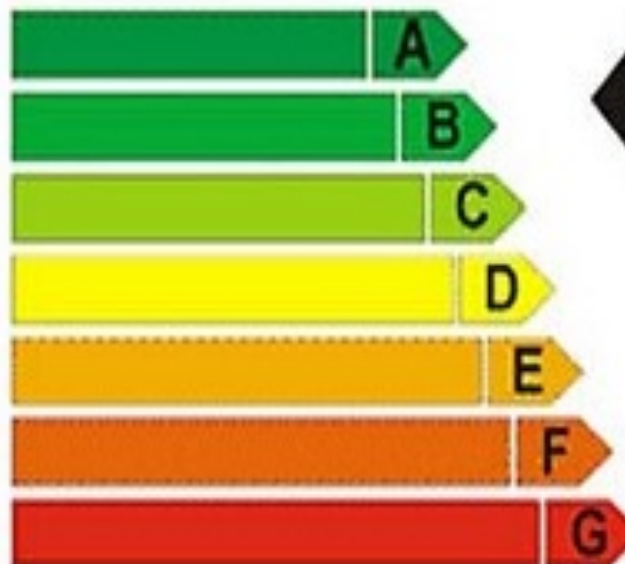
3. Eficiência Energética

...Oportunidades de Economia

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Utilização da menor quantidade de energia elétrica necessária para a execução de uma determinada atividade sem interferir nos resultados que se esperam da mesma.

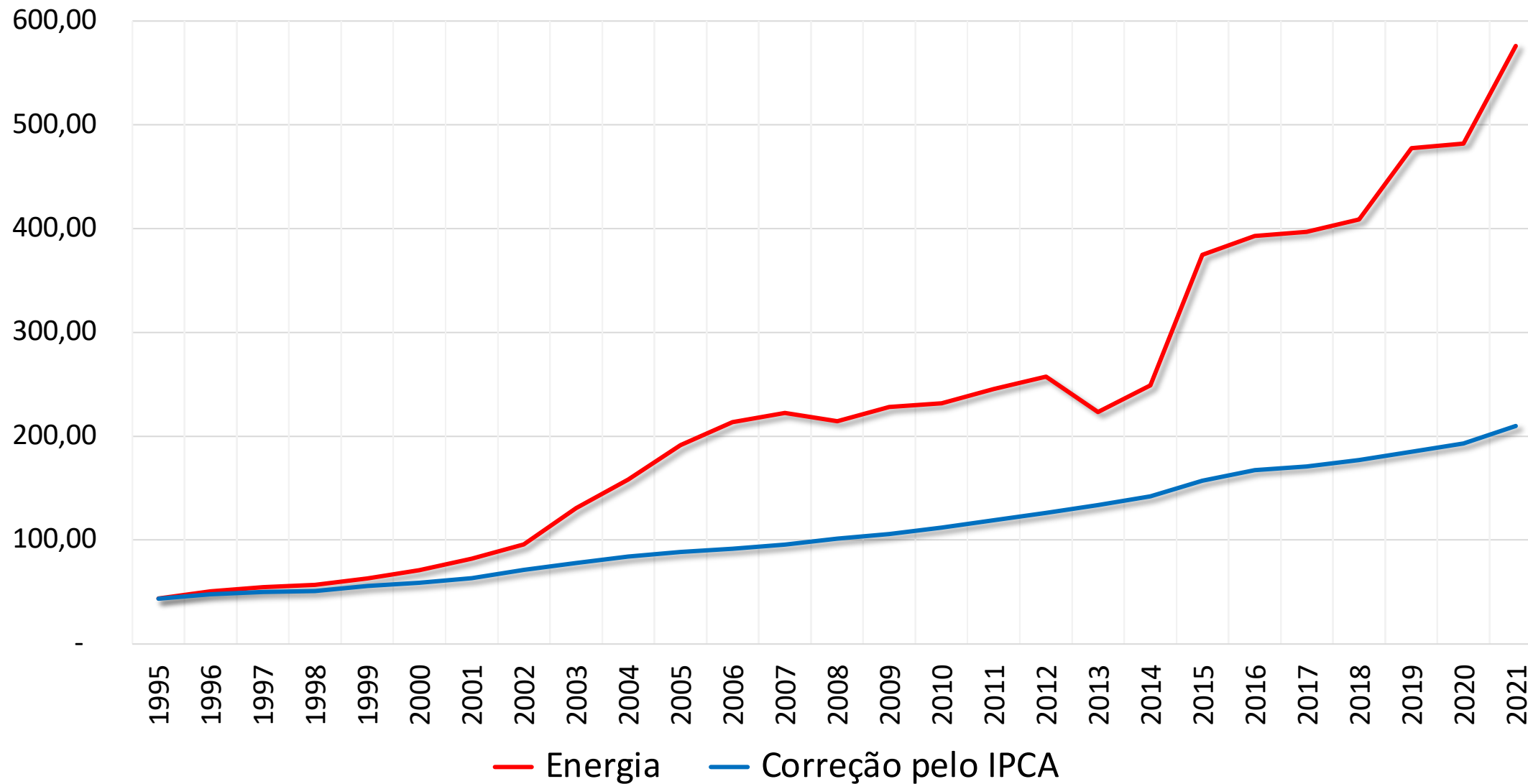
MAIS EFICIENTE



A letra indica a eficiência energética do equipamento
Veja a tabela correspondente na coluna ao lado

MENOS EFICIENTE

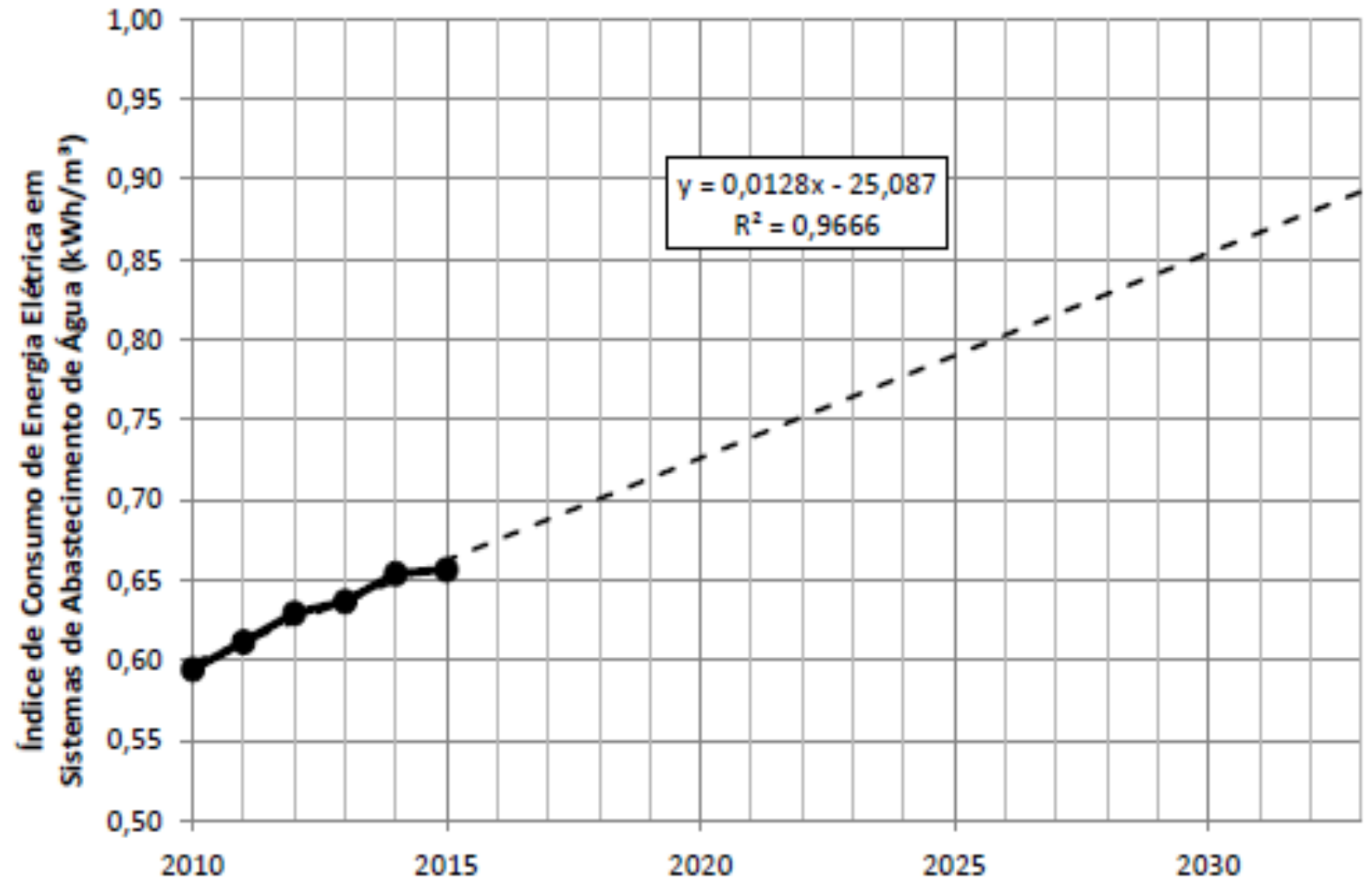
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA



CONSUMO DE ENERGIA

Despesas de energia elétrica dos Prestadores de Serviços de Água e Esgoto atingiram 5,1 bilhões de reais em 2015, tendo sido consumidos 12,1 TWh*.

*Tera Watts hora = 10^9 kWh



Índice de Consumo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água (kWh/m₃) em função do tempo

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS – 2017)

AÇÕES A SEREM CONSIDERADAS

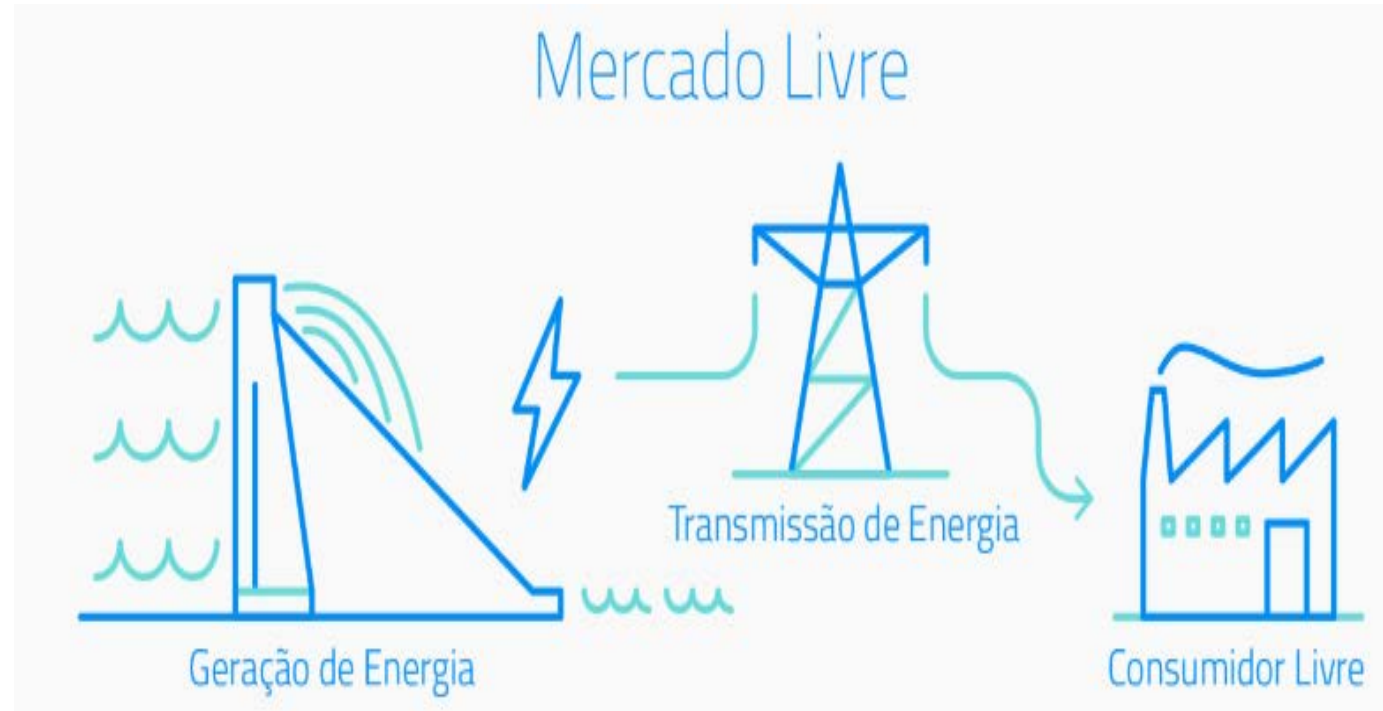
- **Mercado Livre;** (*preço do KWh*)
- **Demanda contratada;** (*Potencia contratada*)
- **Gestão de consumo;** (*redução do uso de bombeamento em hora de ponta*)
- **Banco de capacitores;** (*redução da energia reativa consumida da concessionária*)
- **Inversores de Frequência;** (*adequação automática ao ponto ótimo da curva da bomba*)
- **Soft start;** (*redução do pico de corrente nas partidas do motor*)
- **Troca de motores por motores de alta eficiência;** (*redução na potência consumida*)
- **Redução das perdas reais** (*setorização, redução de pressão, redução dos tempos de reparos dos vazamentos visíveis e controle ativo vazamentos*); (*redução das vazões médias de bombeamento*)
- **Dimensionamento ou redimensionamento de conjuntos motor – bomba;** (*adequação dos conjuntos para atuação aos melhores pontos de eficiência global*)
- **E outras ações não relacionadas acima** (*ex: automação, geração de energia etc...*).

Medições Hidráulicas e Elétricas, associadas a uma análise crítica de resultados, indicam as melhores situações e as melhores ações a serem implementadas...

MERCADO LIVRE DE ENERGIA

Atualmente o setor elétrico brasileiro é composto por dois ambientes de contratação distintos, o **mercado cativo** e o **mercado livre**.

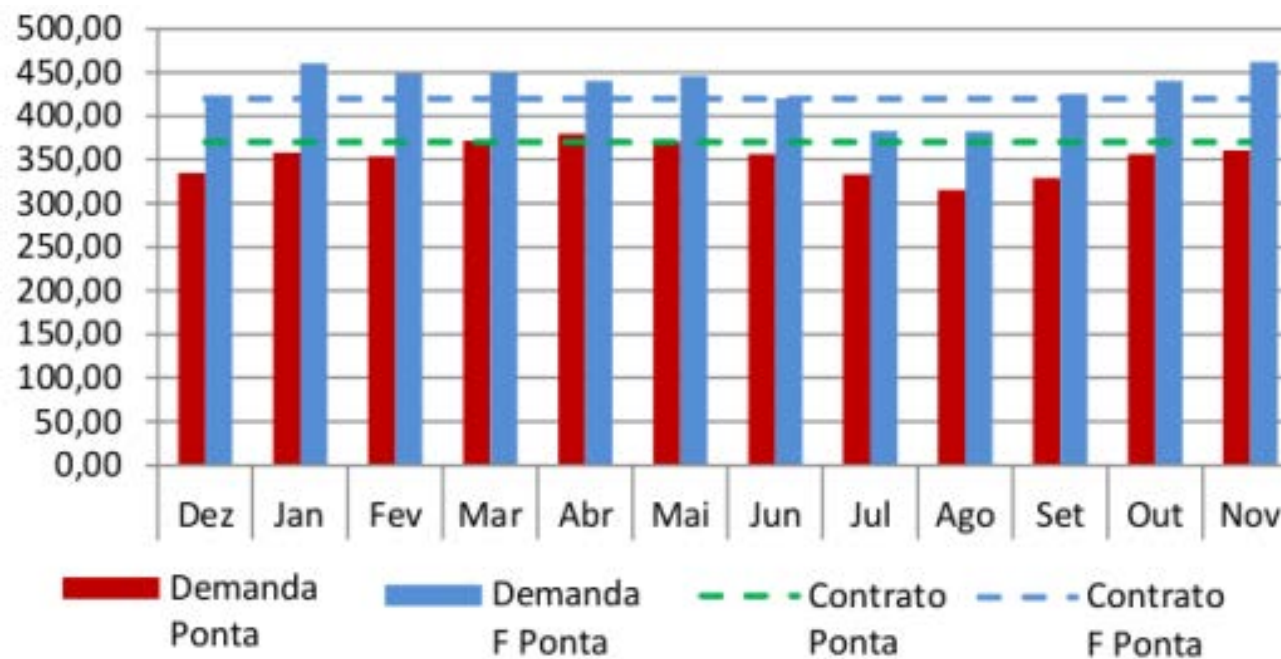
- **Mercado Cativo:** os consumidores só podem comprar energia elétrica de uma concessionária ou de uma permissionária que tem a concessão para fazer o serviço de distribuição energia, tais como a CPFL Paulista (SP).
- **Mercado Livre:** consumidores com demanda igual ou superior 500 kW, compram energia diretamente dos geradores ou comercializadores, através de contratos bilaterais com condições livremente negociadas, como preço, prazo, volume, etc.



Em dezembro de 2022, por exemplo, o custo da energia, um dos componentes da tarifa elétrica, foi de R\$ 277/MWh no mercado regulado e de R\$ 135/MWh do mercado livre, uma diferença de 51%

DEMANDA CONTRATADA

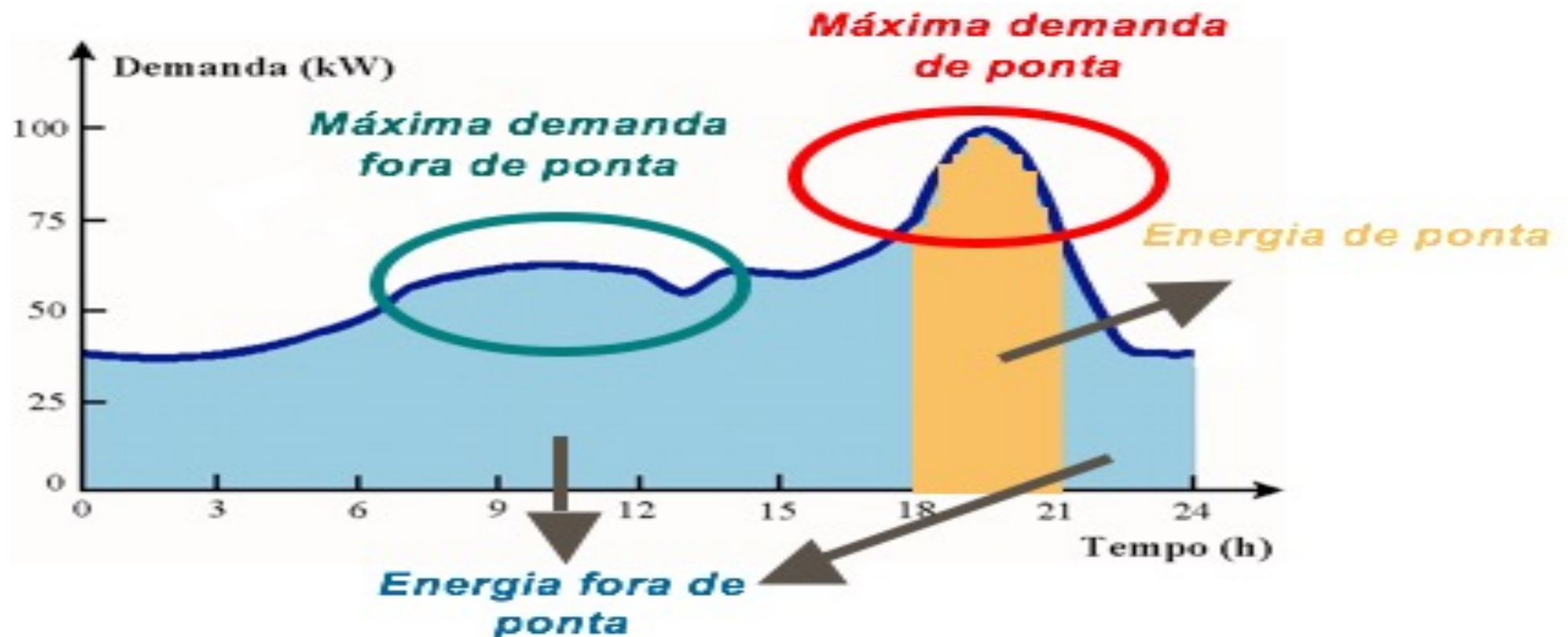
- Contrato de demanda é a quantidade de energia que a unidade consumidora utilizará dentro dos seus processos de consumo de energia elétrica.
- Essa modalidade aplica-se às unidades consumidoras do grupo A, com fornecimento de tensão superiores a 2,3KV.
- A ultrapassagem no consumo maior que 5% da demanda contratada gera onerosas cobranças na fatura de energia conforme Resolução N° 414, de 09/09/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.



Modalidade: Tarifa Horossazonal Azul

GESTÃO DE CONSUMO

Horário de ponta é o período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas, a ser definido pela distribuidora, considerando a curva de carga de seu sistema elétrico. Geralmente corresponde ao período entre 18hrs e 21hrs. Tal determinação é aprovada pela ANEEL para toda a área de concessão, com exceção feita aos sábados, domingos e feriados nacionais.

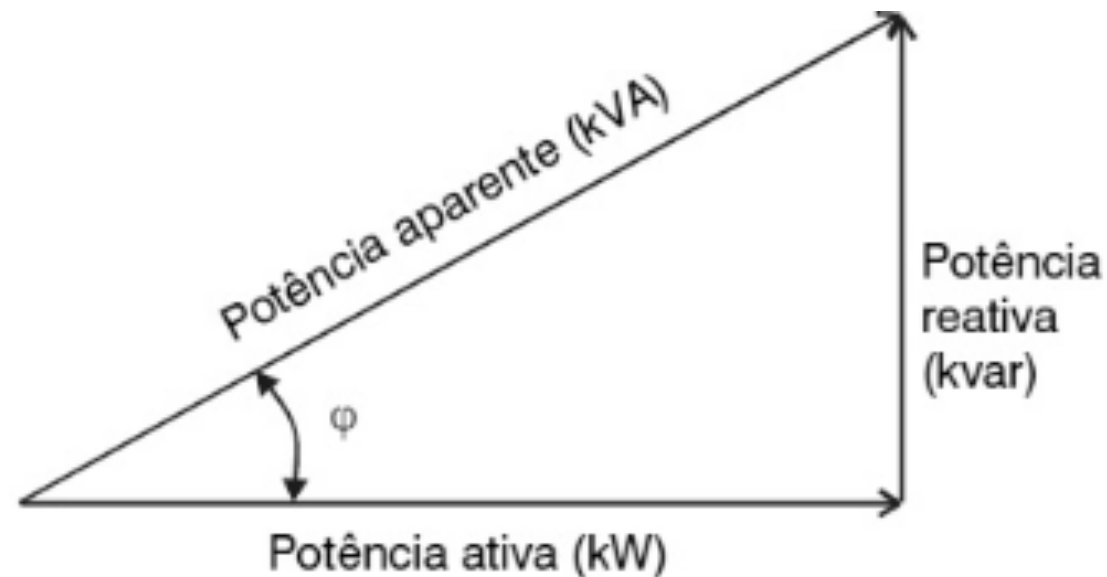


Banco de Capacitores

Fator de Potência é a relação entre a energia ativa e a energia aparente.

A legislação determina que o Fator de Potência deve ser mantido o mais próximo possível da unidade (1,00), mas permite um valor mínimo de 0,92.

(Resolução ANEEL 456/2000)



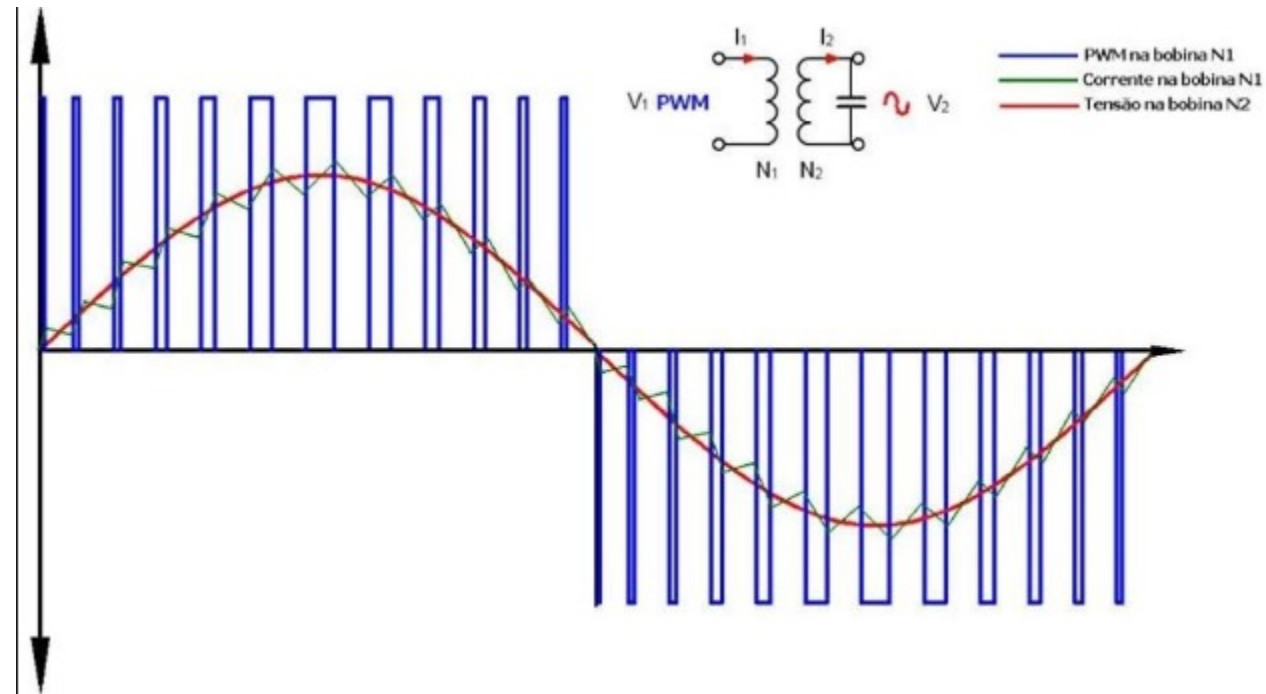
Triângulo retângulo de potência

$$FP = \frac{kW}{KVA} = \cos \varphi = \cos \left(\text{arc tg } \frac{kvar}{kW} \right)$$

$$FP = \frac{kWh}{\sqrt{kWh^2 + kvarh^2}}$$

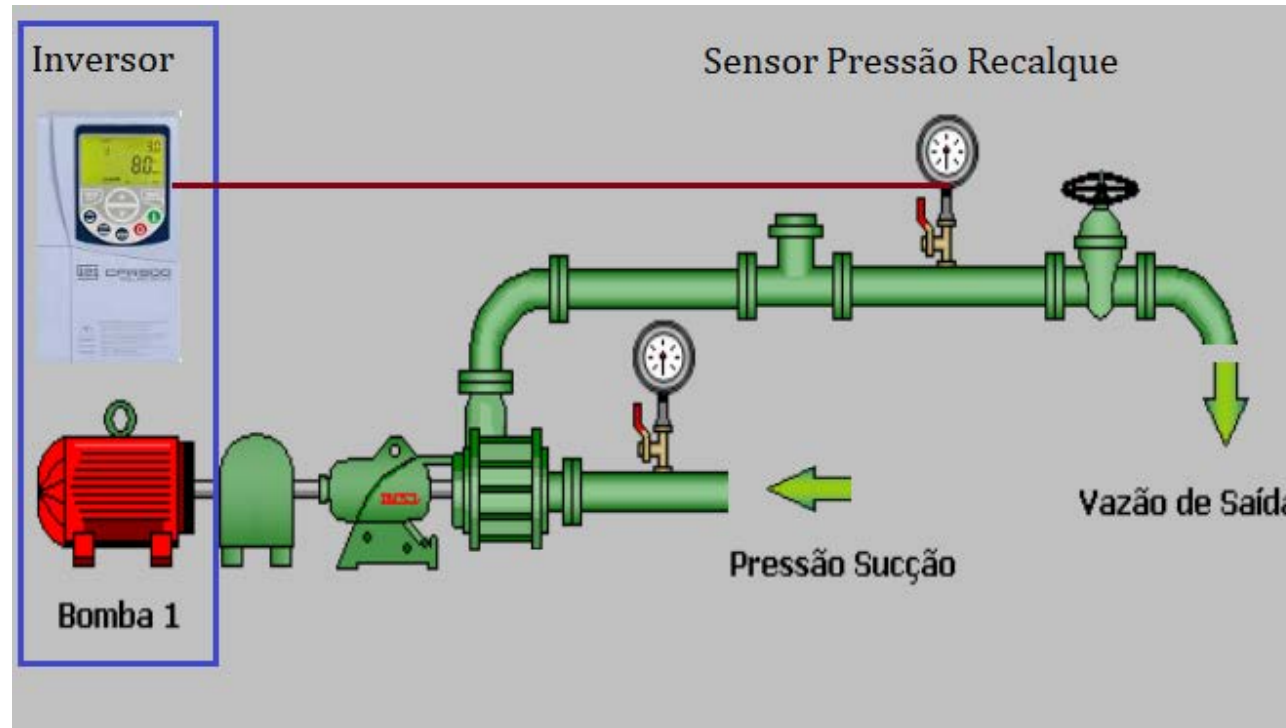
Inversores de Frequência

O inversor de frequência é um equipamento capaz de controlar a velocidade dos motores de indução trifásicos, transformando a corrente alternada em corrente contínua, regulando a velocidade do motor através da modulação de pulsos conhecida como PWM – (Pulse Width Modulation)



Operação de bombas com Inversor de Frequência

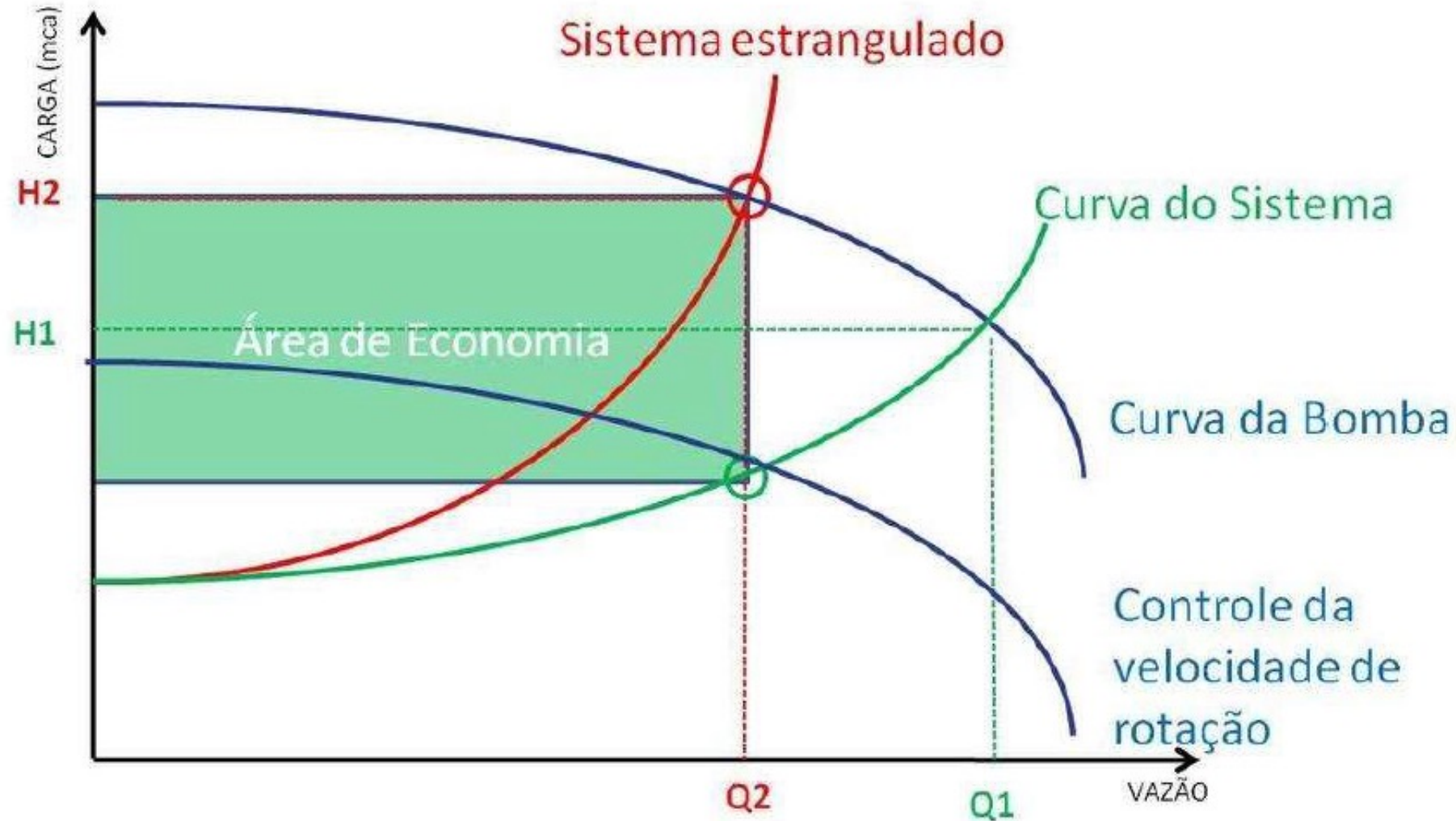
Velocidade acionamento: afeta a vazão e pressão de bombeamento, assim se a vazão aumentar a pressão diminui sendo necessário aumentar a velocidade de acionamento para manter a pressão.



Pressão ou altura manométrica: na saída da bomba é fixa (determinada pela necessidade do sistema)

Vazão: depende do consumo (consumo baixo vazão baixa, consumo alto vazão alta).

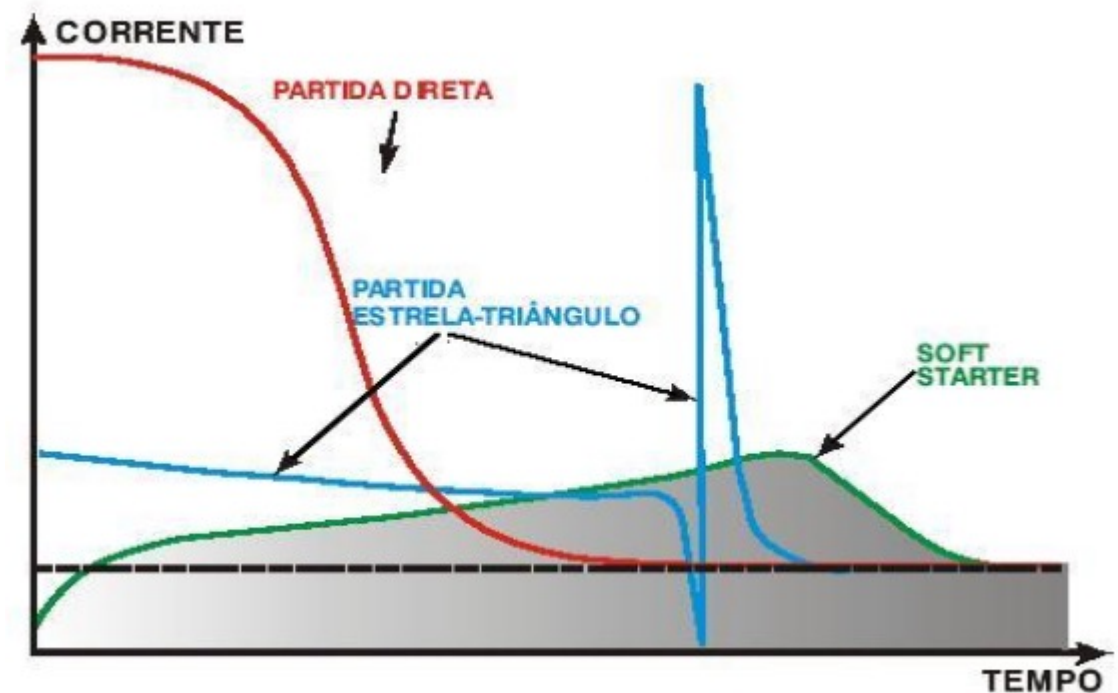
Operação de bombas com Inversor de Frequência x Sistema Estrangulado



Soft Start

O motor de indução trifásico durante a partida atinge correntes elétricas bem elevadas, podendo chegar de 6 a 8 vezes da sua corrente nominal. Esse pico de corrente durante a partida provoca quedas de tensão brusca na rede de alimentação.

A Soft Start, durante a partida e parada do motor, realiza o controle da corrente elétrica no motor, proporcionando uma partida e parada suave.



Troca de Motores por motores de alta eficiência

A Lei de Eficiência Energética, segundo Portaria Interministerial nº 553, estabelece rendimentos mínimos para classificação de motores de alto rendimento.

Os principais fatores que contribuem no baixo rendimento dos motores em operação:

- A idade ou o tempo de trabalho do motor desde sua primeira instalação;
- A média de horas de trabalho do motor em um ano (horas/ano);
- Quantidade de rebobinamentos realizados no motor na sua vida de serviço.

A substituição visa a troca dos motores antigos, em funcionamento, por outros novos de alto rendimento que atendam essa Portaria.



Redução das Perdas Reais

Principais ações para redução de Perdas:

- Setorização;
- Redução de pressão;
- Redução dos tempos de reparo dos vazamentos visíveis;
- Controle ativo vazamentos;
- Redução das vazões médias de bombeamento.
- Redução das perdas aparentes e conseqüentemente redução do desperdício.



Dimensionamento ou redimensionamento de conjuntos motor - bomba

O dimensionamento de motores com potência acima da necessária acarreta maior custo inicial, menor rendimento e menor fator de potência.



Dimensionamento ou redimensionamento de conjuntos motor - bomba

Bomba 1 – 197,7 KW

T=7300 h/ano

Bomba 2 – 175,5 KW

20 horas/dia

$$E = P.t$$

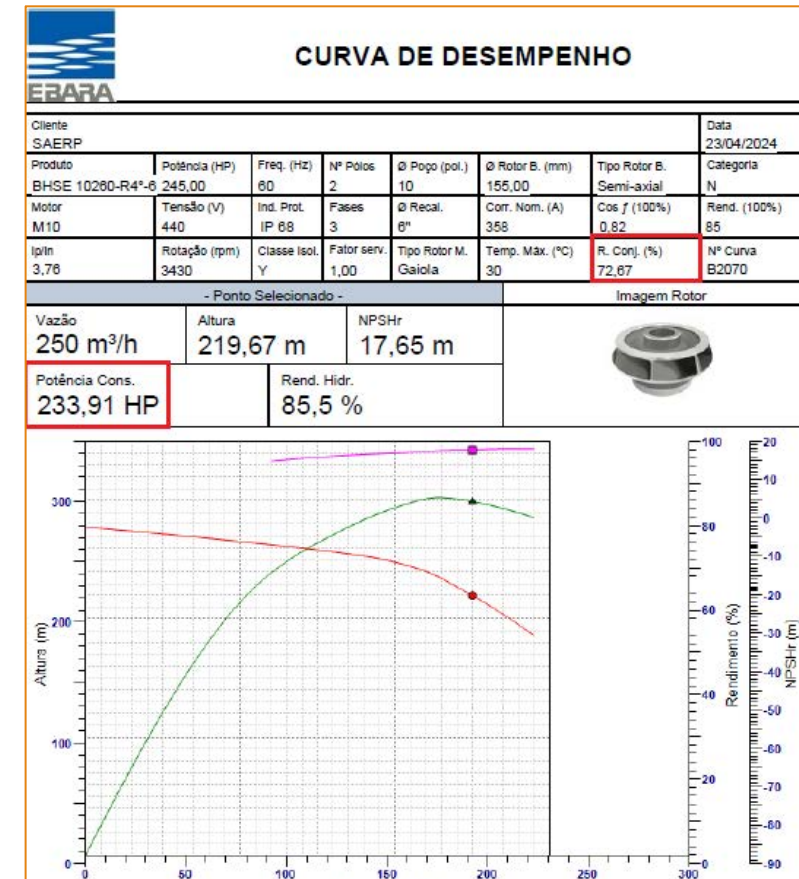
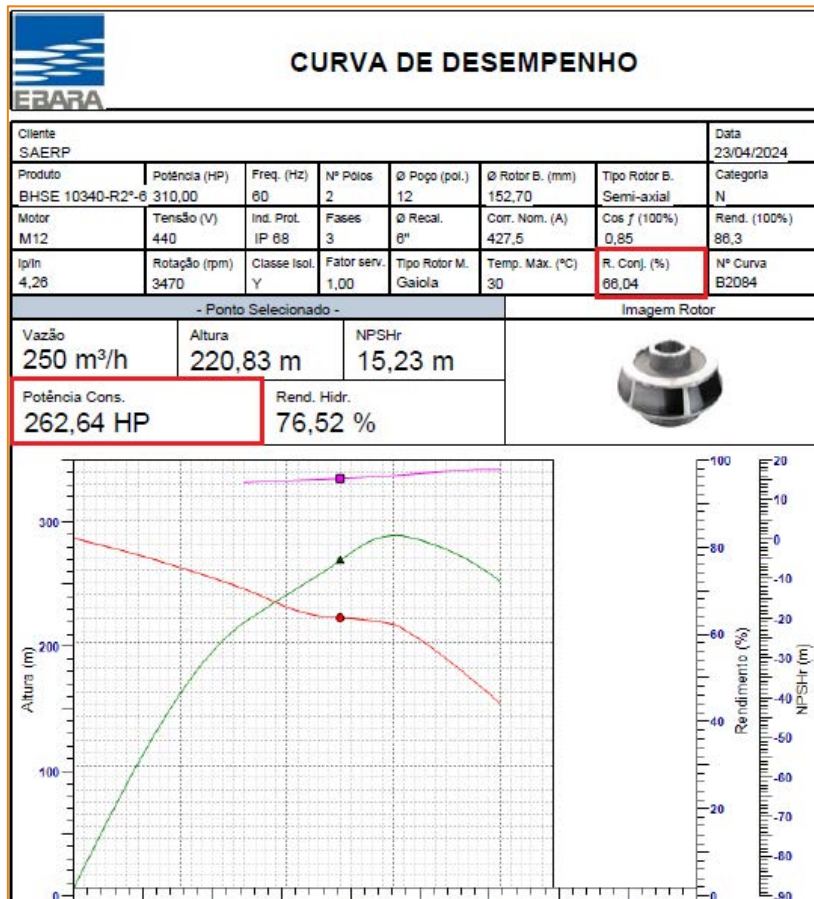
$$E_{B1} = 197,7 \cdot 7300 = 1.443.210 \text{ KW.h}$$

$$\text{Valor}_{B1} = 0,69 \cdot 1.443.210 = \text{R\$ } 995.814,90$$

$$E_{B2} = 175,5 \cdot 7300 = 1.281.150 \text{ KW.h}$$

$$\text{Valor}_{B1} = 0,69 \cdot 1.443.210 = \text{R\$ } 883.993,50$$

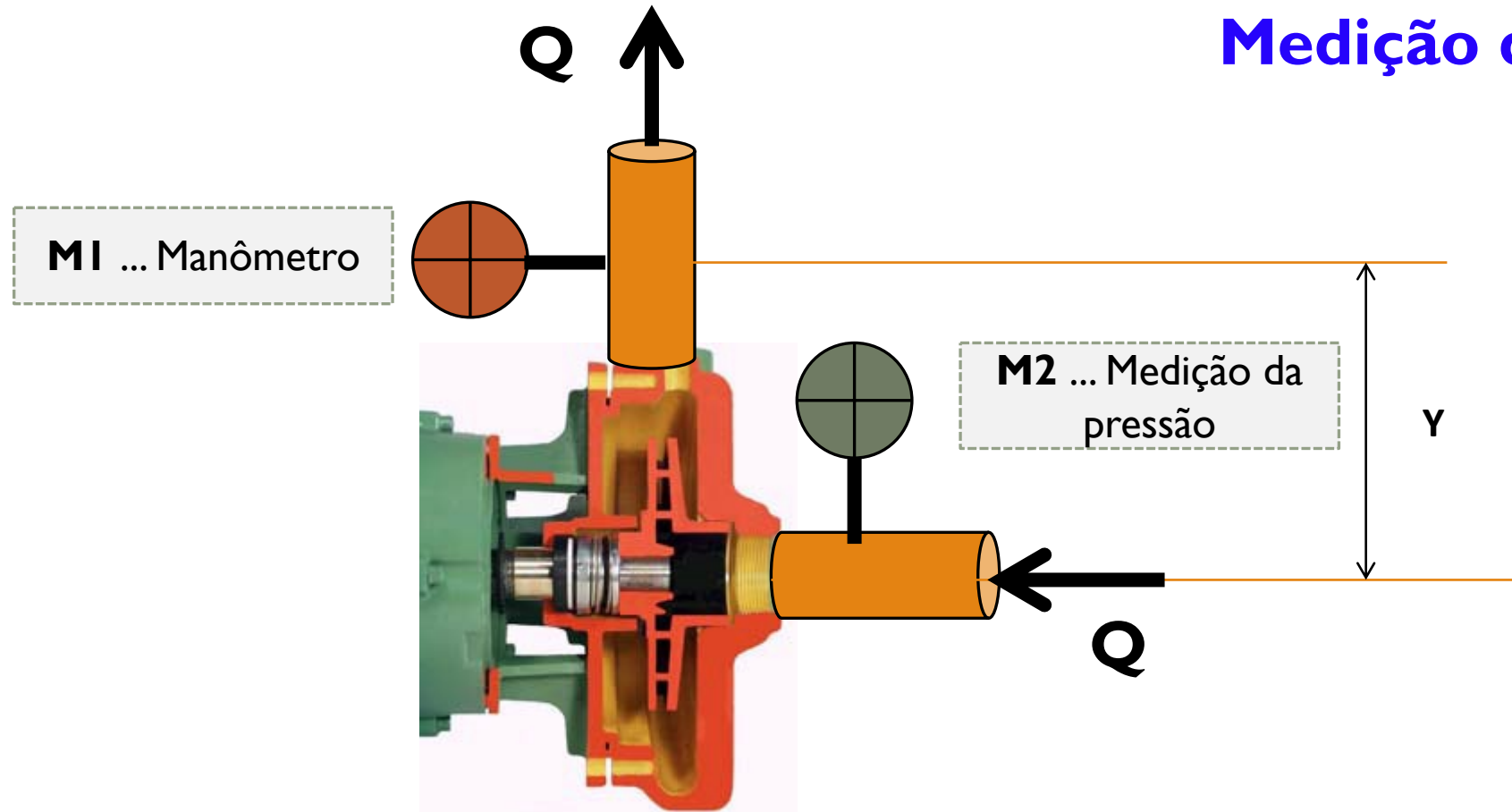
Economia R\$ 111.821,4 por ano.



4. Medições de campo

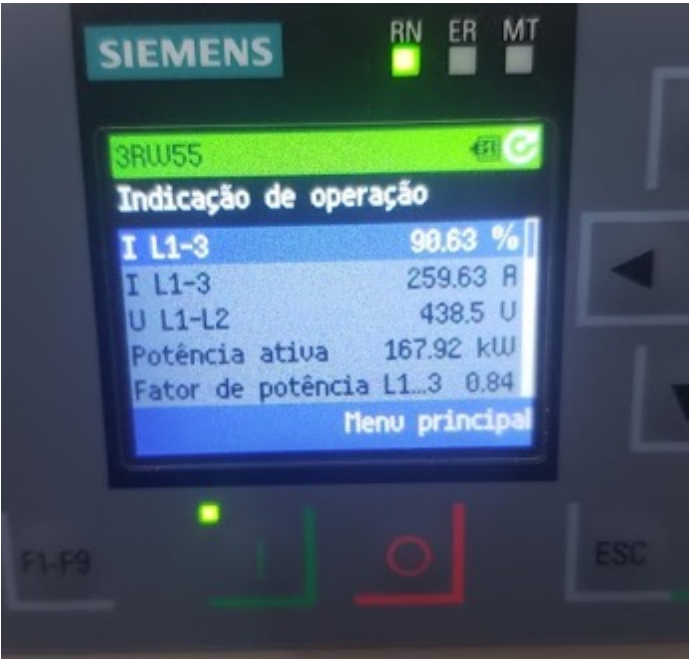
Bombas

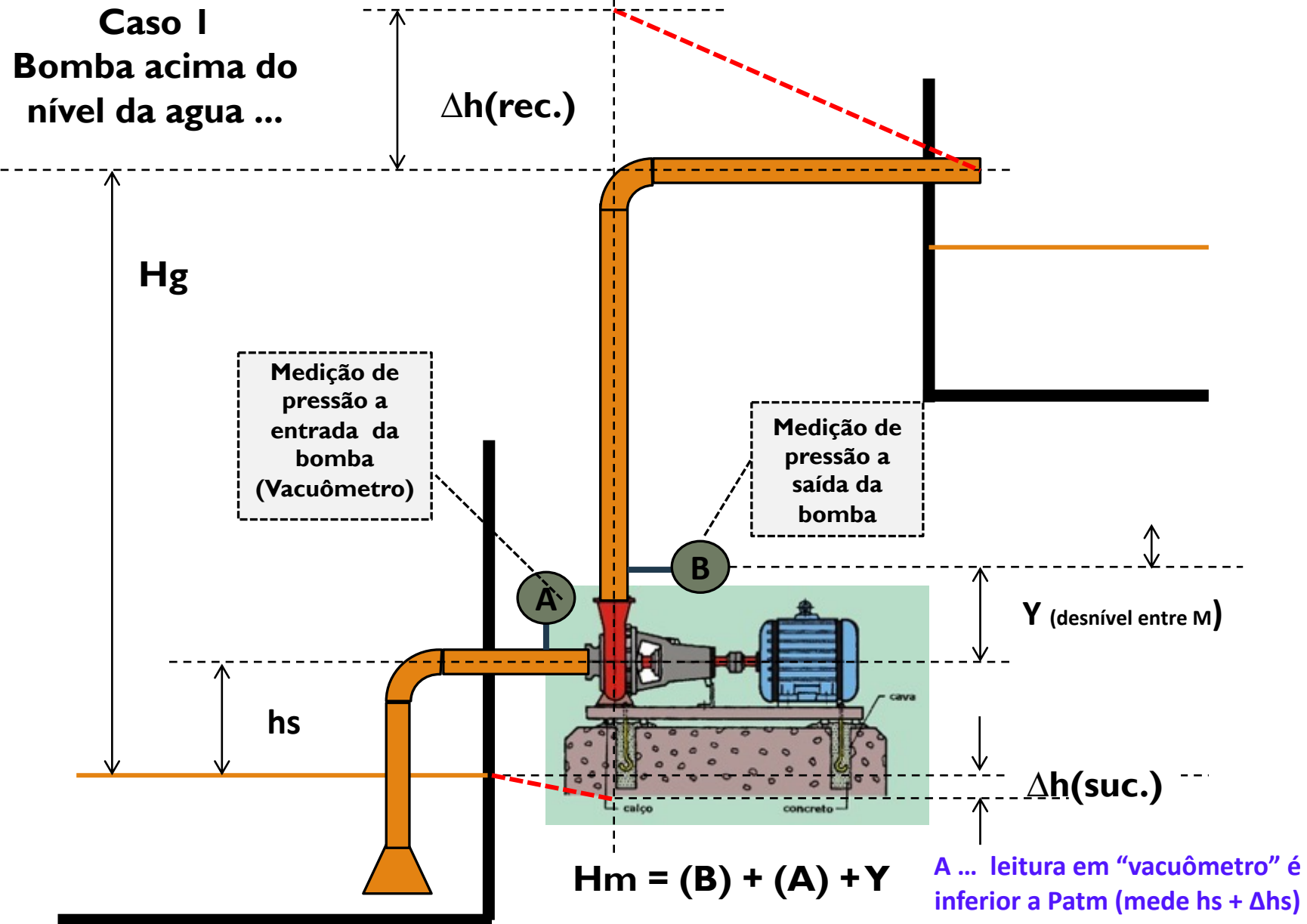
Medição de campo



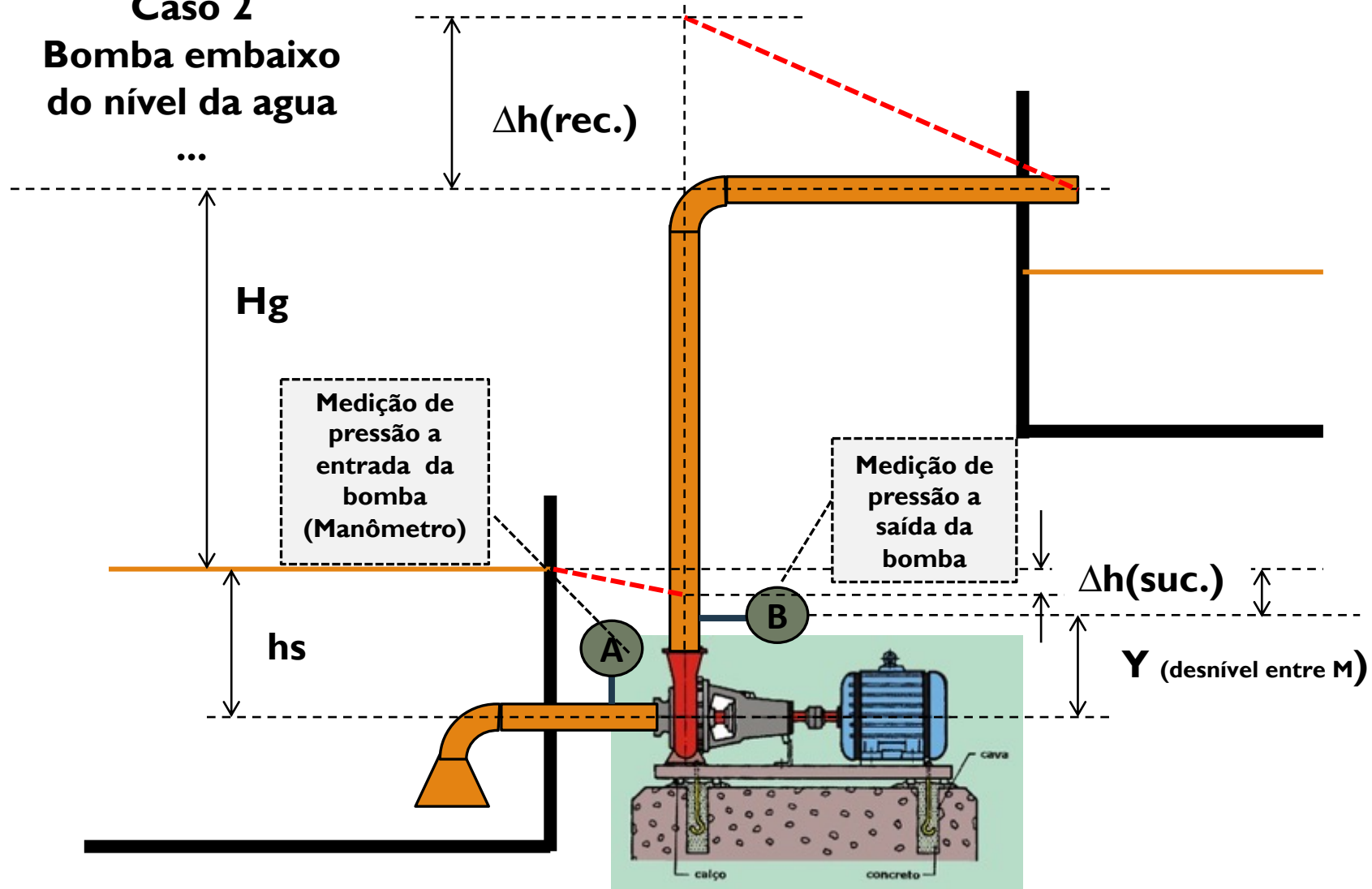
H_m (Altura manométrica) = **leitura do manômetro** (saída da bomba) +
leitura da pressão negativa ou positiva (entrada da bomba) + **Y**

Bombas Medição de campo





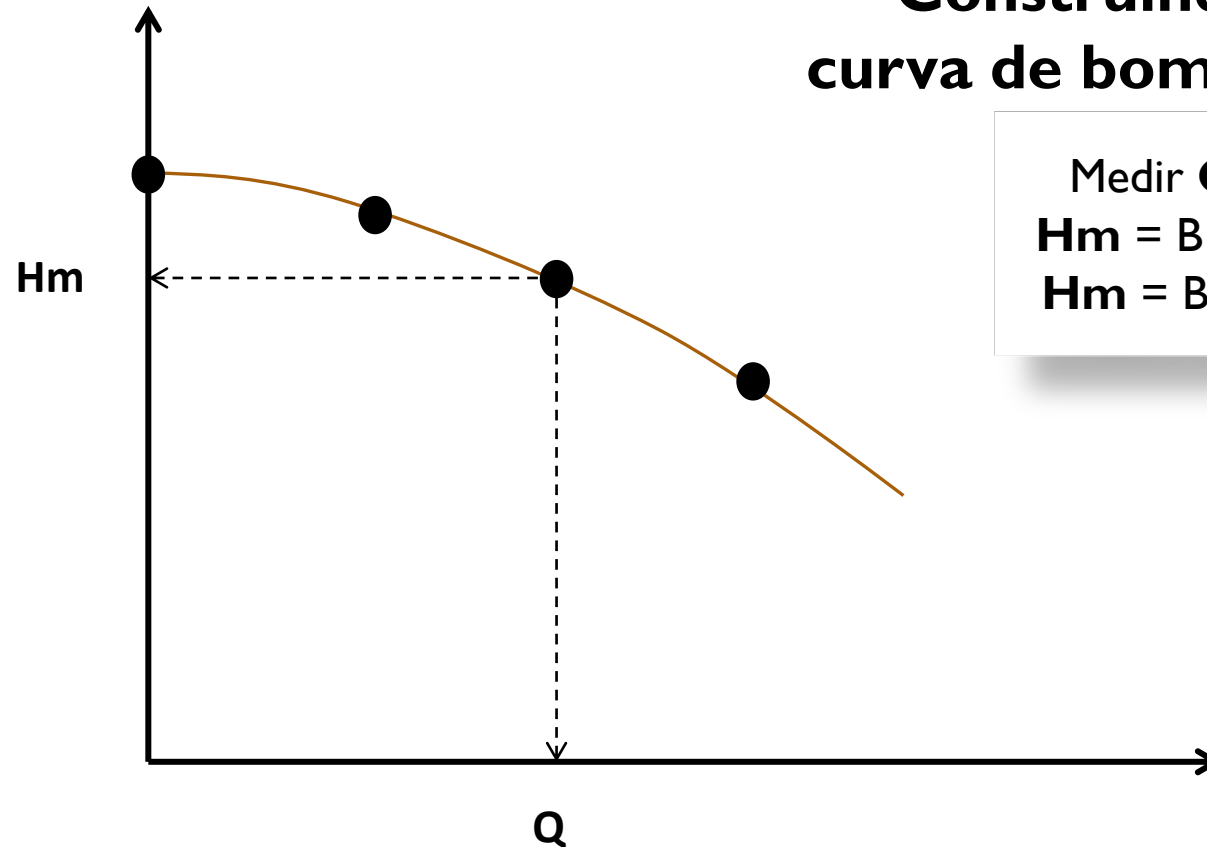
Caso 2
Bomba embaixo
do nível da água



$$H_m = (B + Y) - A = B - A + Y$$

$(h_s - A) = \Delta h_s$... é positivo porque h_s é maior do que a leitura A

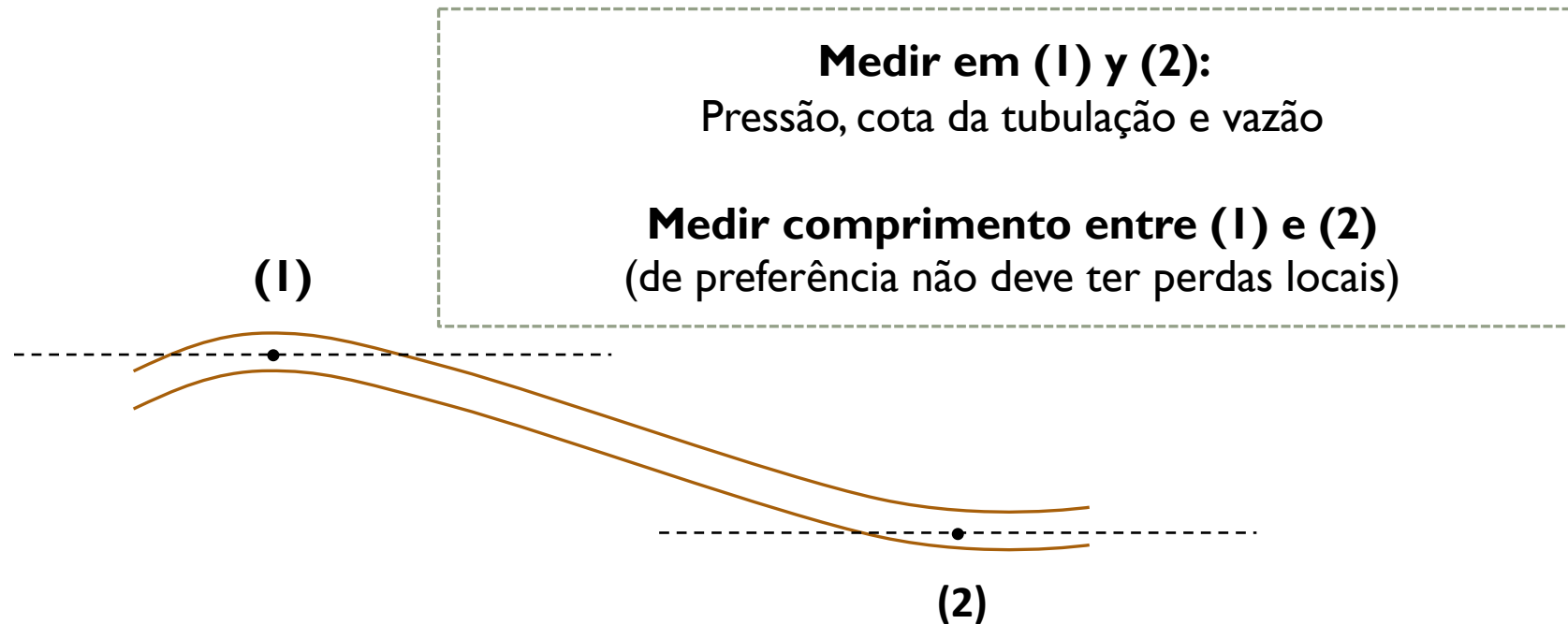
Construindo curva de bomba ...



Medir Q (vazão) e
 $H_m = B + A + Y$ (Caso 1)
 $H_m = B - A + Y$ (caso 2)

... Pela medição da vazão e de sua variação, fazer as diversas leituras de pressão a entrada e saída da bomba e desnível e ...
Se constrói a curva de bomba.

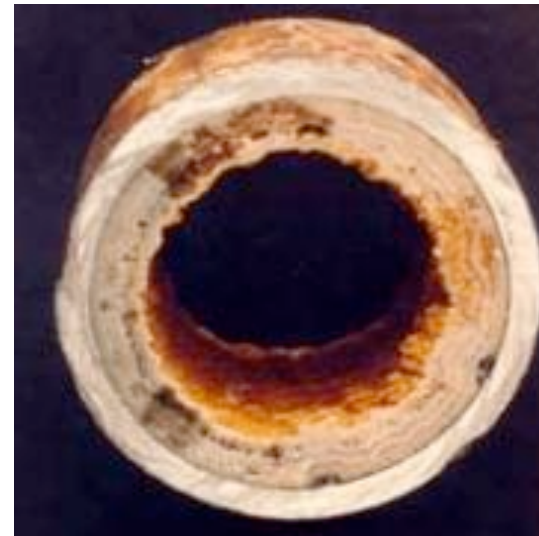
Definição da perda de carga em campo e estimativa do coeficiente de resistência ao fluxo ...



Perda de carga Δh entre (1) e (2):
[Pressão (1) + Cota da tubulação em (1)] - [Pressão (2) + Cota da tubulação em (2)]

Positivo: fluxo de (1) para (2) e se Negativo: fluxo de (2) para (1)

Com a perda de carga estimada e com os valores medidos em campo se estima o coeficiente médio de resistência ao fluxo...

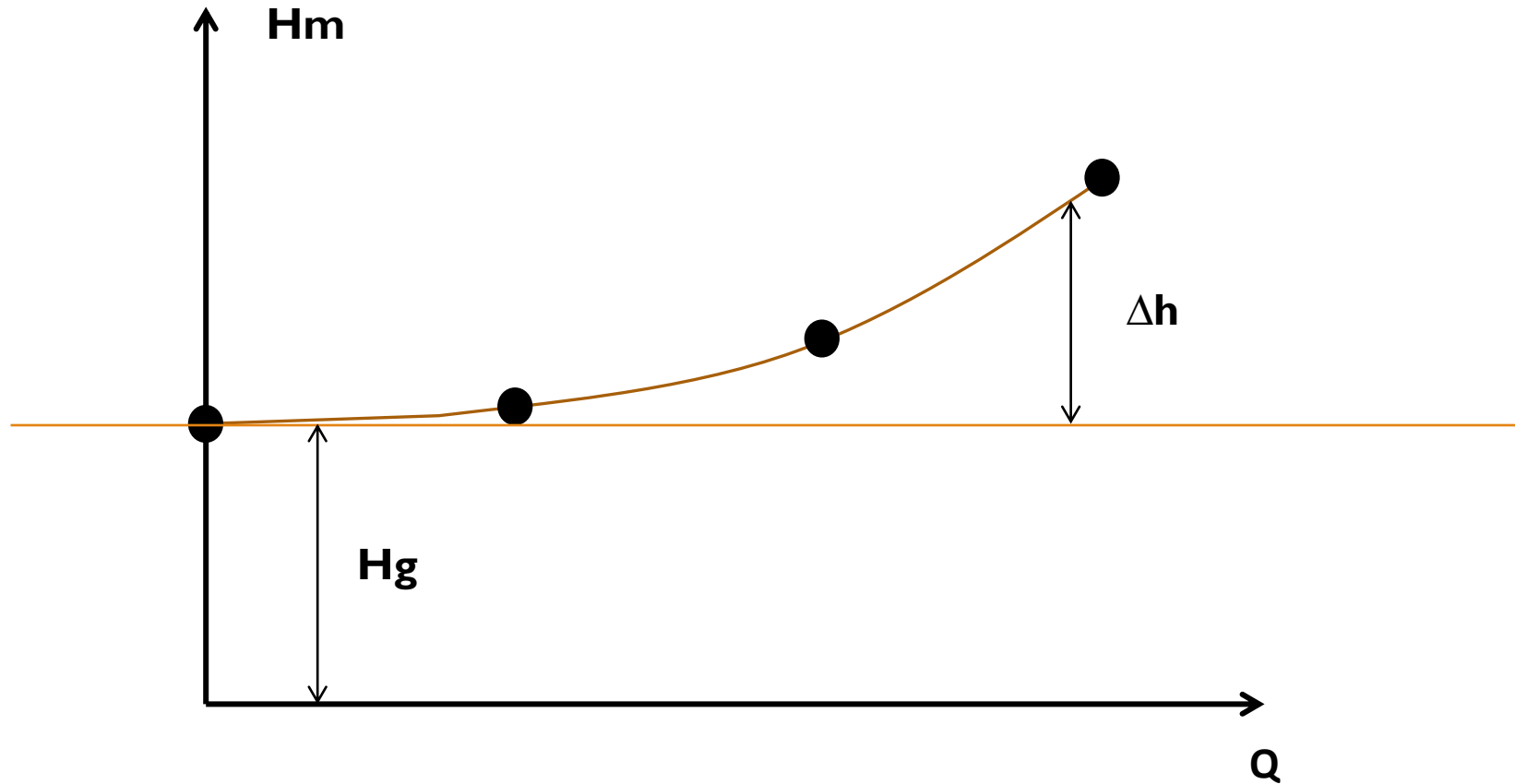


Definição da perda de carga em campo e estimativa do coeficiente de resistência ao fluxo ...

- **C** de Hazen Willians ou
- **k** (rugosidade absoluta) para formula Universal

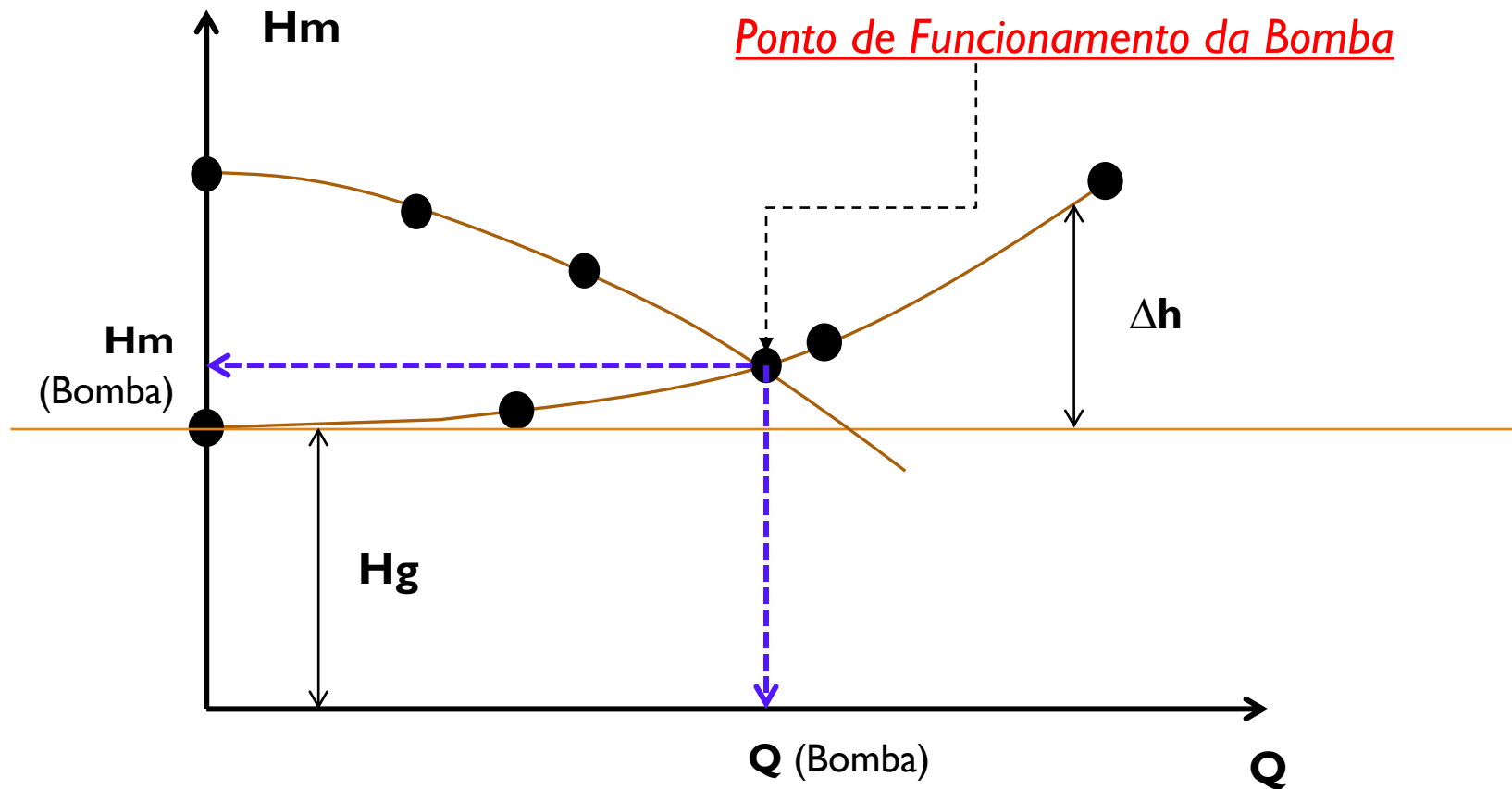


Construindo uma curva característica do sistema ...



Construindo a curva variando Q e calculando Δh para diversos pontos ...

Ponto de Funcionamento de UMA BOMBA (H_m e Q) ...
Intersecção da curva característica do sistema com a curva da bomba ...



Construindo a curva variando Q e calculando Δh para diversos pontos ...

5. Transformações e Transporte de Energia

Conceitos fundamentais:

1ª Lei da Termodinâmica (Conservação de Energia)

Energia Cedida = Energia Recebida

2ª Lei da Termodinâmica

Todo transporte de Energia ou transformação de Energia gera energia dispersa (**perda de energia**) que não realiza trabalho (**conceito da irreversibilidade**)

Perda de Energia a considerar:

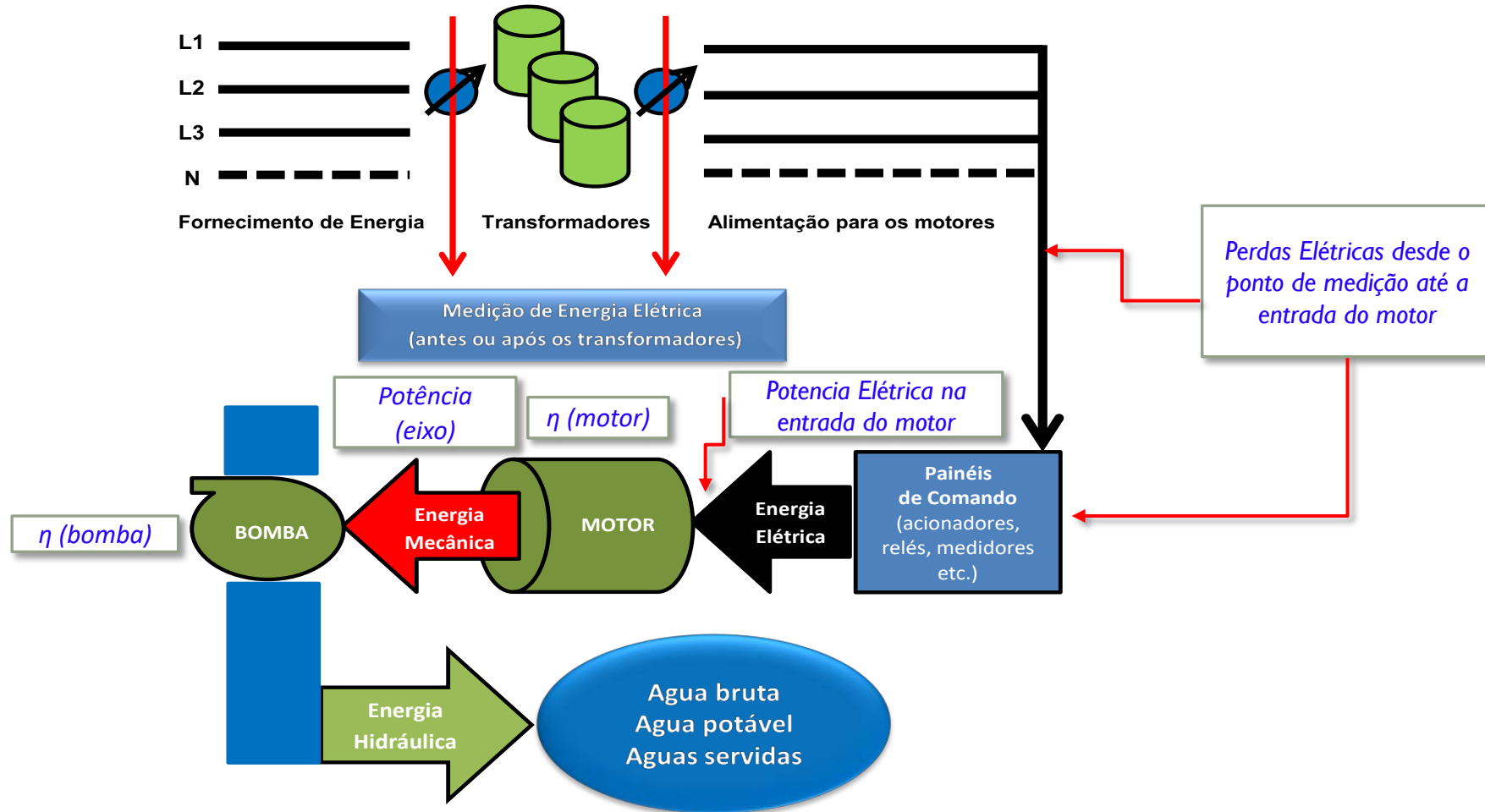
1. **Transporte** de Energia Elétrica resultam em **Perdas Elétricas nos cabos e em outros elementos da instalação.**
2. **Transformação** de Energia Elétrica em Energia Mecânica - **Rendimentos de motores: englobam diversas perdas energia.**
3. **Transformação** de Energia Mecânica em Energia Hidráulica - **Rendimento de bombas: englobam diversas perdas de energia.**
4. **Transporte** de Energia Hidráulica resultam em **Perdas de Carga** (atritos interno por viscosidade e externo por atrito nas paredes da tubulação, pela rugosidade)

Analise Operacional de Conjuntos Elevatórios - Medição de campo

Hidráulica x Elétrica

Esquema típico

Fornecimento de energia e suas transformações eletromecânicas e hidráulicas

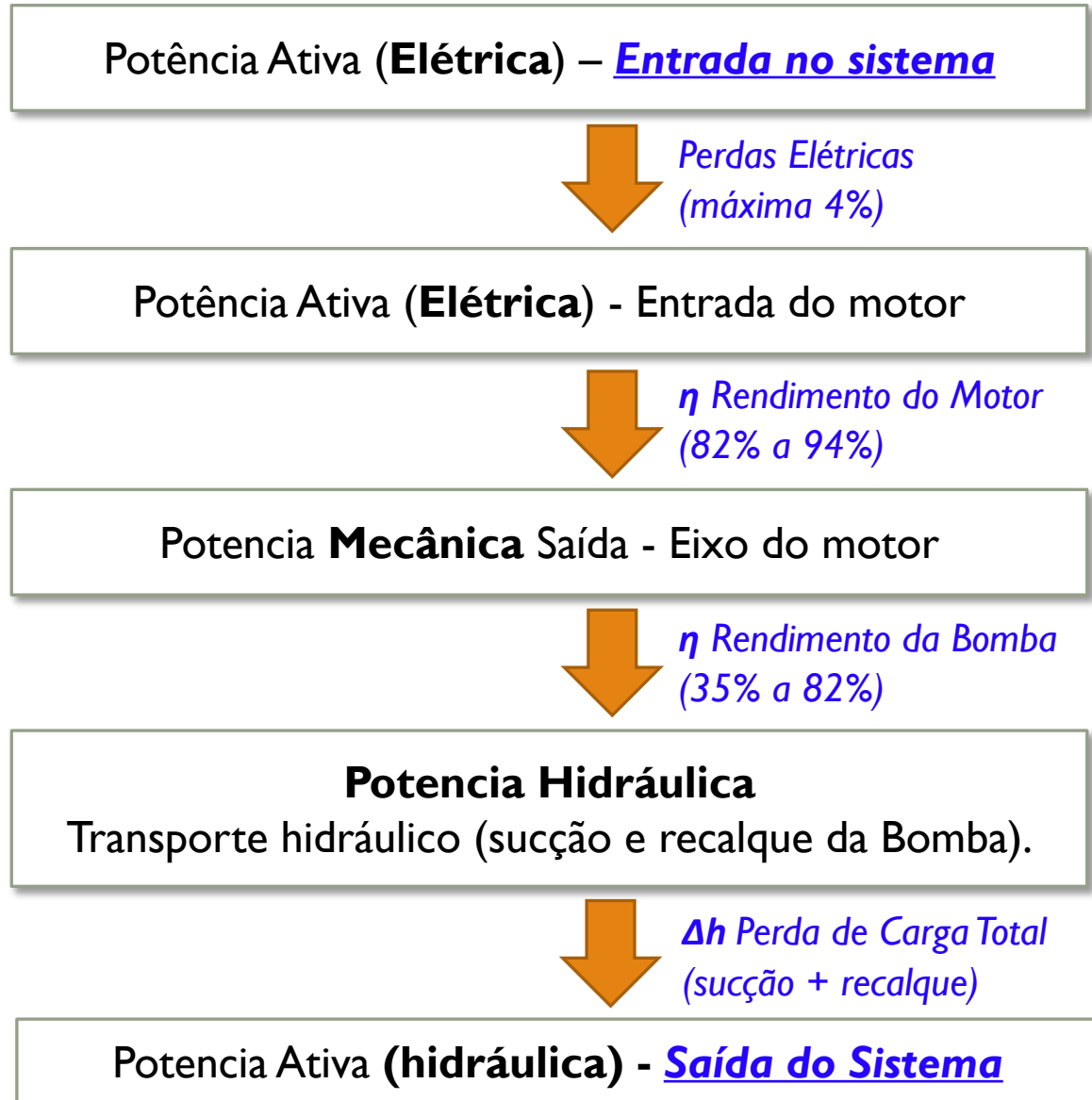


Nota:

Em todo o transporte de energia e nas suas transformações ocorrem as perdas

Analise Operacional de Conjuntos Elevatórios - Medição de campo

Hidráulica x Elétrica



- Medição da Potência Ativa no medidor elétrico e FP; ou
- Medição da Tensão e Corrente em cada fase do sistema trifásico balanceado e aplicar as medias encontradas e FP na formula:

$$P(W) = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

- Considerar as perdas elétricas no transporte da energia elétrica do medidor até e entrada do motor. Ainda, considerar η_{motor} . Considerar a multiplicação das perdas elétricas com o rendimento do motor como ... $\eta_{i.e.}$

$$\eta_{i.e.} = \eta_{motor} \times [1 - (\%) \text{perdas elétricas}]$$

- Calcular a Potência no eixo do motor, aplicando a formula:

$$P(W) = \frac{\gamma \left(\frac{N}{m^3} \right) \times Q_b \left(\frac{m^3}{s} \right) \times H_{man}(m)}{\eta_{bomba}}$$

Analise Operacional de Conjuntos Elevatórios - Medição de campo Hidráulica x Elétrica

Energia Elétrica
cedida

=

Energia dispersa + Energia Mecânica
disponível no eixo do motor

A igualdade é verdadeira para o Mesmo período de TEMPO

Assim

$$P(W) = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \times \eta_{i.e}$$

=

$$P(W) = \frac{\gamma \left(\frac{N}{m^3} \right) \times Q_b \left(\frac{m^3}{s} \right) \times H_{man} (m)}{\eta_{bomba}}$$

Com base nestes conceitos:

As medições elétricas devem convergir com as medições hidráulicas, nas formulas acima, e está **convergência (igualdade)** é uma valiosa ferramenta para a **análise crítica de dados** e de **desempenhos operacionais** e para as respectivas **tomadas de decisão** das oportunidades de economia e da eficiência energética.

6. Estudo de Caso *Aplicação*

Eficiencia Energética

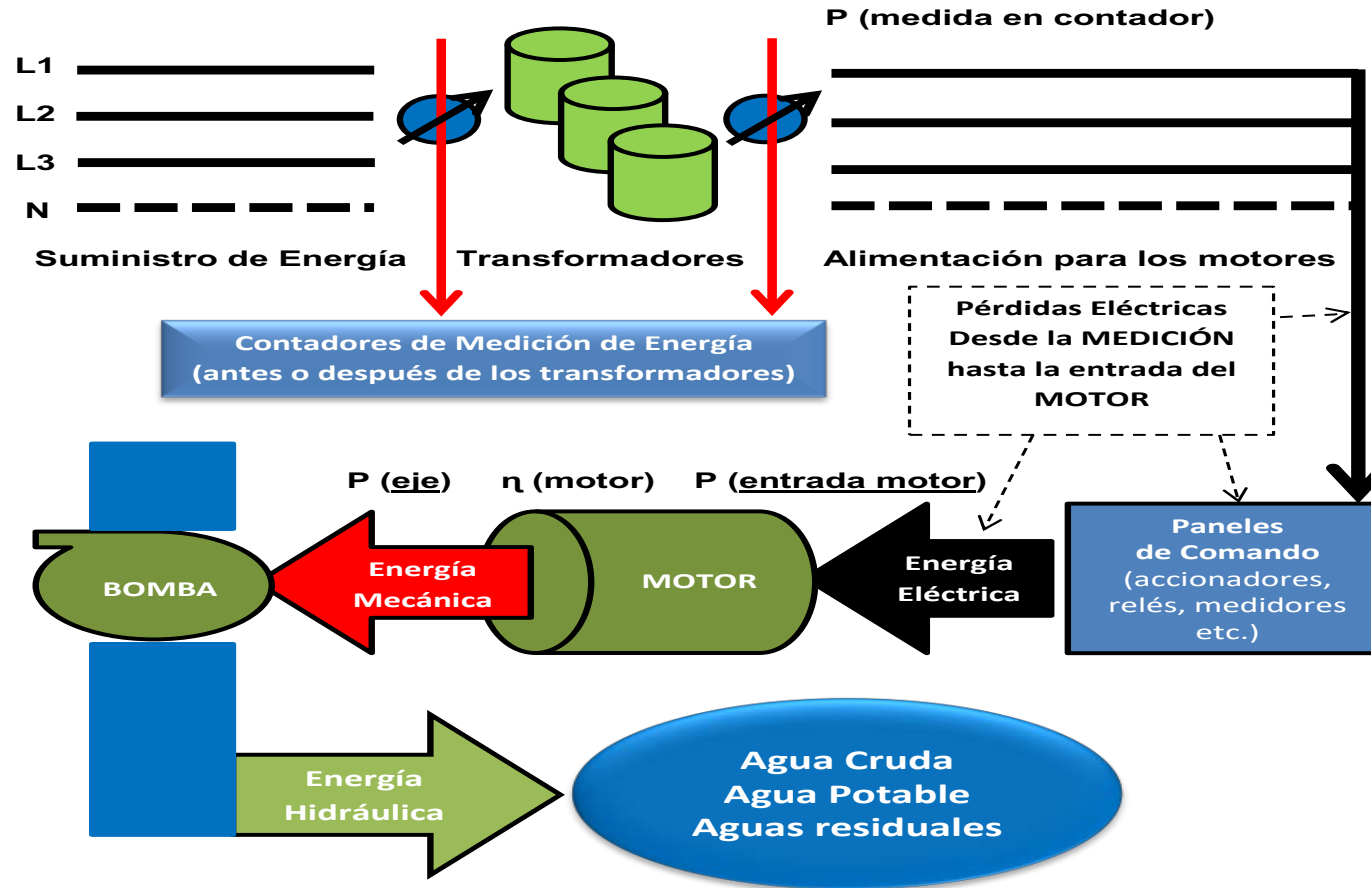
Pozo La Fresera
Siguatepeque / Honduras

Capacitación

Ing. Lineu Andrade de Almeida

5 junio de 2013

Esquema típico de suministro de energía y sus transformaciones electromecánica e hidráulica



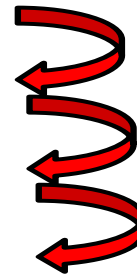
Nota:
En todo el transporte de energía y en las transformaciones ocurren las pérdidas

POTENCIA ACTIVA MEDIDA - ELÉCTRICA
(Pérdidas eléctricas – Instalación y cables)

Potencia Activa (entrada Motor) - Eléctrica
 η (motor)

Potencia (eje Motor - Bomba) - Mecánica
 η (bomba)

POTENCIA HIDRÁULICA



Ejemplo

Mediciones y Datos – Pozo La Fresera

1º caso: AFOROS

Cabeza del Pozo:

Caudal (Hidrómetro) ... 17,6 L/s

Manómetro 73 PSI



Llegada al Tanque:

Caudal (ultrasónico) 11,6 L/s

Pérdida de Agua: 34% ????

Datos eléctricos:

Vmedio = 426 V

I medio = 46,5 A

P activa = 29 Kw Leída

P reactiva = 18 KVar Leída

F.P = 0,85Calculada

P activa = 29,1 KwCalculada



2º caso: Análisis Crítico

Cabeza del Pozo:

Caudal (Ultrasónico) ... 11,6 L/s

Manómetro 73 PSI

Llegada al Tanque:

Caudal (ultrasónico) 11,6 L/s

Pérdida de Agua: 0% posible

Datos eléctricos:

Vmedio = 426 V

I medio = 46,5 A

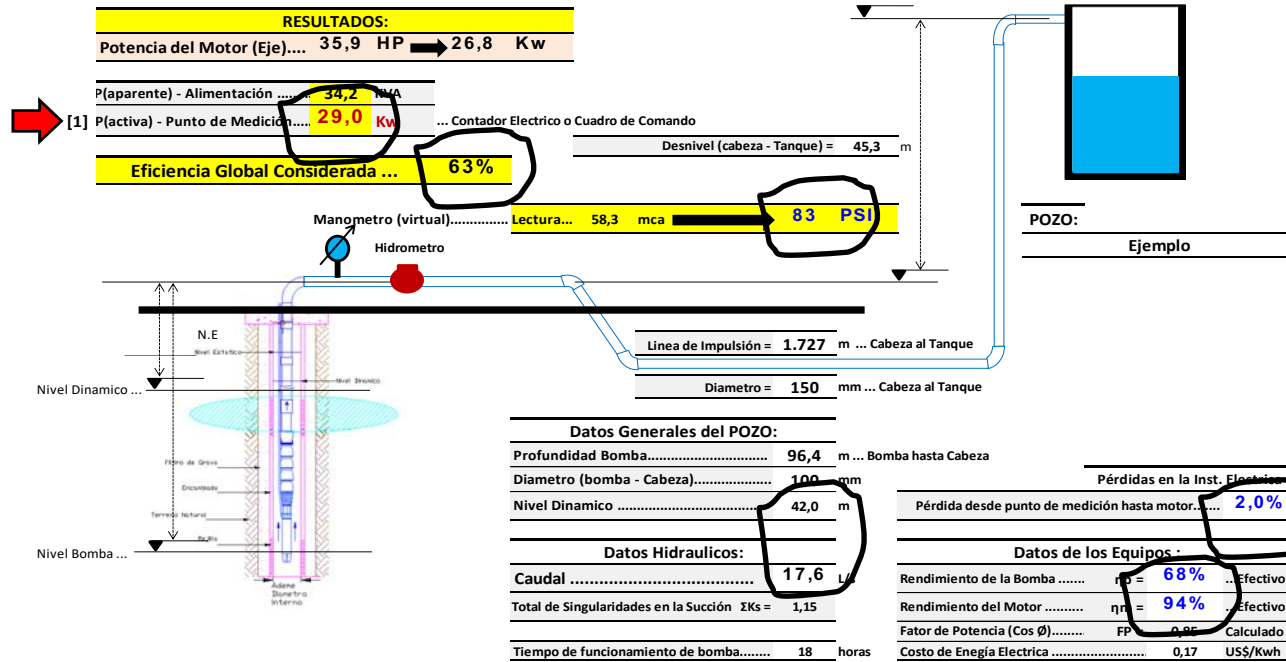
P activa = 29 Kw Leída

P reactiva = 18 KVar Leída

F.P = 0,85Calculada

P activa = 29,1 KwCalculada

Evaluación del Funcionamiento del Sistema de Bombeo de Pozo a Tanque



Manómetro debería medir
73 PSI ...
Y no 83 PSI
No hay convergencia

Sería Excelente
si fuese verdad
alta eficiencia (63%)

↓

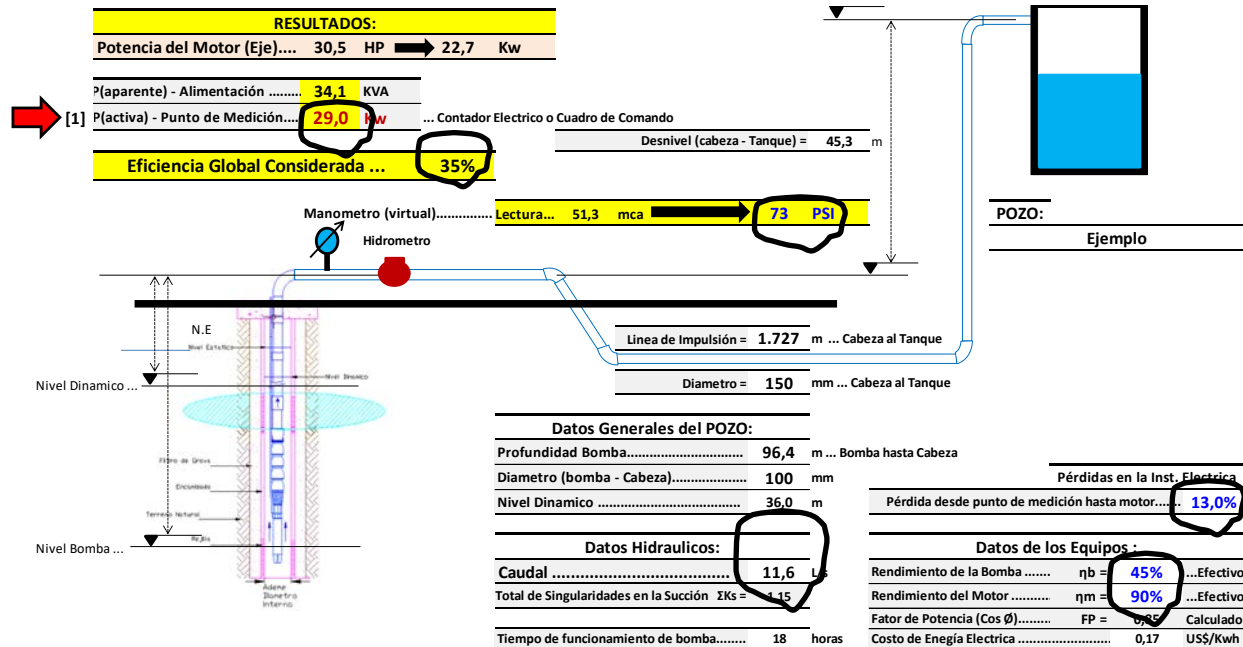
Análisis Crítico de los datos

IMPULSIÓN - BOMBA HASTA CABEZA DEL POZO			
Pérdida de Carga	Δh = 5,43 [mca]		
Caudal	Q = 17,6 [L/s]		
Extensión	L = 96,4 [m]		
Diametro	Ø = 100 [mm]		
Coefficiente de Hazen Willians	C = 140		
Singularidades	ΣKs = 3,15		
Piezas:	Ks	Cantidad	Total
Ampliacion gradual	0,30	1	0,3
Bocais	2,75	0	0
Comporta Abierta	1,00	0	0
Controlador de Caudal	2,50	0	0
Codo de 90°	0,90	1	0,9
Codo de 45°	0,20	0	0
Codo de 22,5°	0,10	0	0
Entrada Normal en Tuberia	0,50	0	0
Entrada de Borda	1,00	1	1
Pequeña derivación	0,03	0	0
Junción	0,40	0	0
Medidor Venturi	2,50	0	0
Reducción Gradual	0,15	1	0,15
Salida de Tuberia	1,00	0	0
T (paseje directa)	0,60	1	0,6
T (salida al lado)	1,30	0	0
T (bi lateral)	1,80	0	0
Valvula de angulo abierta	5,00	0	0
Valvula de Corte (gaveta) abierta	0,20	1	0,2
Valvula Mariposa Graduada (*)	0,3	0	0
Valvula de Pie	1,75	0	0
Valvula de Retención	2,50	0	0
Valvula de Globo	10,00	0	0
Totalización de las singularidades		ΣKs = 3,15	

IMPULSIÓN - CABEZA DEL POZO A TANQUE			
Pérdida de Carga	Δh = 13,05 [mca]		
Caudal	Q = 17,6 [L/s]		
Extensión	L = 1.726,6 [m]		
Diametro	Ø = 150 [mm]		
Coefficiente de Hazen Willians	C = 140		
Singularidades	ΣKs = 30,80		
Piezas:	Ks	Cantidad	Total
Ampliacion gradual	0,30	1	0,3
Bocais	2,75	0	0
Comporta Abierta	1,00	0	0
Controlador de Caudal	2,50	0	0
Codo de 90°	0,90	3	2,7
Codo de 45°	0,20	9	1,8
Codo de 22,5°	0,10	0	0
Entrada Normal en Tuberia	0,50	1	0,5
Entrada de Borda	1,00	0	0
Pequeña derivación	0,03	0	0
Junción	0,40	1	0,4
Medidor Venturi	2,50	0	0
Reducción Gradual	0,15	0	0
Salida de Tuberia	1,00	1	1
T (paseje directa)	0,60	2	1,2
T (salida al lado)	1,30	0	0
T (bi lateral)	1,80	0	0
Valvula de angulo abierta	5,00	0	0
Valvula de Corte abierta	0,20	2	0,4
Valvula Mariposa Graduada (*)	0,3	0	0
Valvula de Pie	1,75	0	0
Valvula de Retención	2,50	1	2,5
Valvula de Globo	10,00	2	20
Totalización de las singularidades		ΣKs = 30,8	

CONSUMOS ANUALES	
Consumo E.E	190.833 Kwh/año
Gasto con E.E	32.441,68 US\$/año
Datos Eléctricos	
Contador Eléctrico Cuenta Mensual	
[2] Potencia Activa	29,0 Kw
Potencia Reactiva...	18,0 Kw
Nota:	
La Potencia Activa del [1] debe se igual [2] para eso,debe estimar las perdidas eléctricas, rendimiento del motor y rendimiento de la bomba si no se dispone de la curva del fabricante.	

Evaluación del Funcionamiento del Sistema de Bombeo de Pozo a Tanque



Manómetro presenta medición de 73 PSI
Convergencia de Datos

Verdad Posible
baja eficiencia (35%)

↓

Convergencia de Datos
Hidráulico y Eléctricos

IMPULSIÓN - BOMBA HASTA CABEZA DEL POZO			
Pérdida de Carga	$\Delta h = 2,49$ [mca]		
Caudal	Q = 11,6 [L/s]		
Extensión	L = 96,4 [m]		
Diametro	$\phi = 100$ [mm]		
Coefficiente de Hazen Willians	C = 140		
Singularidades	ZKs = 3,15		
Piezas:	Ks	Cantidad	Total
Ampliacion gradual	0,30	1	0,3
Bocais	2,75	0	0
Comporta Abierta	1,00	0	0
Controlador de Caudal	2,50	0	0
Codo de 90°	0,90	1	0,9
Codo de 45°	0,20	0	0
Codo de 22,5°	0,10	0	0
Entrada Normal en Tuberia	0,50	0	0
Entrada de Borda	1,00	1	1
Pequeña derivación	0,03	0	0
Junción	0,40	0	0
Medidor Venturi	2,50	0	0
Reducción Gradual	0,15	1	0,15
Salida de Tuberia	1,00	0	0
T (pasaje directa)	0,60	1	0,6
T (salida al lado)	1,30	0	0
T (bi lateral)	1,80	0	0
Valvula de angulo abierta	5,00	0	0
Valvula de Corte (gaveta) abierta	0,20	1	0,2
Valvula Mariposa Graduada (*)	0,3	0	0
Valvula de Pie	1,75	0	0
Valvula de Retención	2,50	0	0
Valvula de Globo	10,00	0	0
Totalización de las singularidades	ZKs = 3,15		

IMPULSIÓN - CABEZA DEL POZO A TANQUE			
Pérdida de Carga	$\Delta h = 5,99$ [mca]		
Caudal	Q = 11,6 [L/s]		
Extensión	L = 1.726,6 [m]		
Diametro	$\phi = 150$ [mm]		
Coefficiente de Hazen Willians	C = 140		
Singularidades	ZKs = 30,80		
Piezas:	Ks	Cantidad	Total
Ampliacion gradual	0,30	1	0,3
Bocais	2,75	0	0
Comporta Abierta	1,00	0	0
Controlador de Caudal	2,50	0	0
Codo de 90°	0,90	3	2,7
Codo de 45°	0,20	9	1,8
Codo de 22,5°	0,10	0	0
Entrada Normal en Tuberia	0,50	1	0,5
Entrada de Borda	1,00	0	0
Pequeña derivación	0,03	0	0
Junción	0,40	1	0,4
Medidor Venturi	2,50	0	0
Reducción Gradual	0,15	0	0
Salida de Tuberia	1,00	1	1
T (pasaje directa)	0,60	2	1,2
T (salida al lado)	1,30	0	0
T (bi lateral)	1,80	0	0
Valvula de angulo abierta	5,00	0	0
Valvula de Corte abierta	0,20	2	0,4
Valvula Mariposa Graduada (*)	0,3	0	0
Valvula de Pie	1,75	0	0
Valvula de Retención	2,50	1	2,5
Valvula de Globo	10,00	2	20
Totalización de las singularidades	ZKs = 30,8		

CONSUMOS ANUALES	
Consumo E.E	190.558 Kwh/año
Gasto con E.E	32.394,94 US\$/año
Datos Electricos	
Contador Electrico	Medida Mensual
[2] Potencia Activa	29,0 Kw
Potencia Reactiva	18,0 Kvar
Nota:	
La Potencia Activa del [1] debe ser igual [2] para eso, debe estimar las pérdidas eléctricas, rendimiento del motor y rendimiento de la bomba si no se dispone de la curva del fabricante.	

Esta simulación tiene la posibilidad de estar correcta !!!!
Por la Convergencia de Datos

RESULTADOS:

Potencia do Motor (Eixo).... 31,7 HP → 23,6 Kw

P(aparente) - Alimentação 34,1 KVA

[1] P(ativa) - Ponto de Medição 29,0 Kw → Meta → 29,0 KW ... Referencia a qual [1] deve igualar-se

Eficiência Global Considerada ... 35%

Desnível (cabeça - Tanque) = 45,3 m

Manômetro (virtual)..... Leitura... 51,3 mca → 73 PSI

Hidrômetro

Linha de Recalque = 1.727 m ... Cabeça ao Tanque

Diâmetro = 150 mm ... Cabeça ao Tanque

Nota: Nivel Dinâmico proporciona uma boa sucção sem admissão de ar.

Dados Gerais do POÇO:

Profundidade Bomba..... 96,4 m ... Bomba até Cabeça

Diâmetro (bomba - Cabeça)..... 100 mm

Nivel Dinâmico 36,0 m

Dados Hidráulicos:

Vazão 11,6 L/s

Total de Singularidades na Sucção... ZKs = 1,15

Tempo de funcionamento de bomba..... 18 horas

Perdas na Instalação Eléctrica

Perda desde o ponto de medição até o motor..... 3,0%

Dados dos Equipamentos:

Rendimento da Bomba $\eta_b = 43\%$...Efetivo

Rendimento do Motor $\eta_m = 84\%$...Efetivo

Fator de Potencia (Cos ϕ)..... FP = 0,85 Calculado

Custo de Energia Eléctrica 0,17 US\$/kwh

Manómetro presenta medición de 73 PSI
Convergencia de Datos

Verdad Posible
baja eficiencia (35%)

Convergencia de Datos
Hidráulico y Eléctricos

RECALQUE - BOMBA ATÉ CABEÇA DO POÇO

Perda de Carga	$\Delta h = 2,49$ [mca]		
Vazão	Q = 11,6	[L/s]	
Extensão	L = 96,4	[m]	
Diâmetro	$\phi = 100$	[mm]	
Coefficiente de Hazen Williams	C = 140		
Singularidades	ZKs = 3,15		
Peças:	Ks	Quantidade	Total
Ampliação gradual	0,30	1	0,3
Bocais	2,75	0	0
Comporta Aberta	1,00	0	0
Controlador de Vazão	2,50	0	0
Curva de 90°	0,90	1	0,9
Curva de 45°	0,20	0	0
Curva de 22,5°	0,10	0	0
Entrada Normal de Tubulação	0,50	0	0
Entrada de Borda	1,00	1	1
Pequena derivação	0,03	0	0
Junção	0,40	0	0
Medidor Venturi	2,50	0	0
Redução Gradual	0,15	1	0,15
Saída de Tubulação	1,00	0	0
T (passagem direta)	0,60	1	0,6
T (saída de lado)	1,30	0	0
T (bi lateral)	1,80	0	0
Válvula de angulo aberta	5,00	0	0
Válvula de Corte (gaveta) aberta	0,20	1	0,2
Válvula Borboleta Graduada (*)	0,3	0	0
Válvula de Pé	1,75	0	0
Válvula de Retenção	2,50	0	0
Válvula de Globo	10,00	0	0
Totalização das singularidades		ZKs = 3,15	

RECALQUE - CABEÇA DO POZO AO TANQUE

Perda de Carga	$\Delta h = 5,99$ [mca]		
Vazão	Q = 11,6	[L/s]	
Extensão	L = 1.727,0	[m]	
Diâmetro	$\phi = 150$	[mm]	
Coefficiente de Hazen Williams	C = 140		
Singularidades	ZKs = 30,80		
Peças:	Ks	Quantidade	Total
Ampliação gradual	0,30	1	0,3
Bocais	2,75	0	0
Comporta Aberta	1,00	0	0
Controlador de Vazão	2,50	0	0
Curva de 90°	0,90	3	2,7
Curva de 45°	0,20	9	1,8
Curva de 22,5°	0,10	0	0
Entrada Normal de Tubulação	0,50	1	0,5
Entrada de Borda	1,00	0	0
Pequena derivação	0,03	0	0
Junção	0,40	1	0,4
Medidor Venturi	2,50	0	0
Redução Gradual	0,15	0	0
Saída de Tubulação	1,00	1	1
T (passagem direta)	0,60	2	1,2
T (saída de lado)	1,30	0	0
T (bi lateral)	1,80	0	0
Válvula de angulo aberta	5,00	0	0
Válvula de Corte aberta	0,20	2	0,4
Válvula Borboleta Graduada (*)	0,3	0	0
Válvula de Pé	1,75	0	0
Válvula de Retenção	2,50	1	2,5
Válvula de Globo	10,00	2	20
Totalização das singularidades		ZKs = 30,8	

CONSUMOS ANUAIS

Consumo E.E 190.545 Kwh/ano

Gasto com E.E 32.393 US\$/ano

Dados Eléctricos

Leitura Contador Eléctrico, Fatura ou Calculado

[2] Potencia Ativa 29,0 KW

Potencia Reativa..... 18,0 Kvar

Nota:
A Potencia Ativa de [1] deve ser igual [2] para isso, se deve estimar as perdas eléctricas, rendimento do motor e rendimento da bomba se não se dispõe da curva do fabricante da mesma.

Esta simulación tiene la posibilidad de estar correcta !!!!
Por la Convergencia de Datos

Valores mínimos de eficiência global eletromecânica recomendados

Intervalo de Potencias		Eficiência Global Eletromecânica (%)
kW	HP	
3,7 – 14,9	5 - 20	52 - 56
14,9 – 37,3	20 - 50	56 - 60
37,3 – 93,3	50 - 125	60 - 65
93,3 – 261,0	125 - 350	> 65

Conclusión:

No Hay Operación SIN MEDICIÓN !!!!!

Los Datos deben expresar la realidad operacional !!!!

Y Los aparatos de mediciones deben ser confiables.

Siempre hacer análisis critico de los datos

Muchas Gracias !!!!!!!

Obrigado!!!!

Eng. Lineu Andrade de Almeida

lineu.almeida@gmail.com

+55 11 98104 4093