

# OPERAÇÕES UNITÁRIAS I

Prof. Gerônimo Virgínio Tagliaferro

Ementa:

- Introdução às Operações Unitárias.
- Transporte de fluídos: bombeamento.
- Transferência de calor: Trocador de calor.
- Transporte de Sólidos.

## Referências Bibliográficas:

- 1) Foust et al. Operações Unitárias.
- 2) Mc Cabe/Smith, Operações Básicas de Engenharia Química.
- 3) Azevedo Netto et al., Hidráulica.
- 4) Márcio B. Baptista, et al. Fundamentos de Engenharia Hidráulica.
- 5) Incropera et al., Fundamentos de Transferência de Calor e Massa.
- 6) Gomide, R. Operações Unitárias. São Paulo. Cenpro editores, 1988 V4.
- 7) Gomide, R. Operações Unitárias: Fluídos na Indústria. São Paulo. Vol. 2. 1993.

## INTRODUÇÃO:

### Conceituação de Operações Unitárias:

- Definição de Operações Unitárias;
- Tipos de Operações Unitárias;
- Principais Aplicações na Indústria.
  
- Definição:

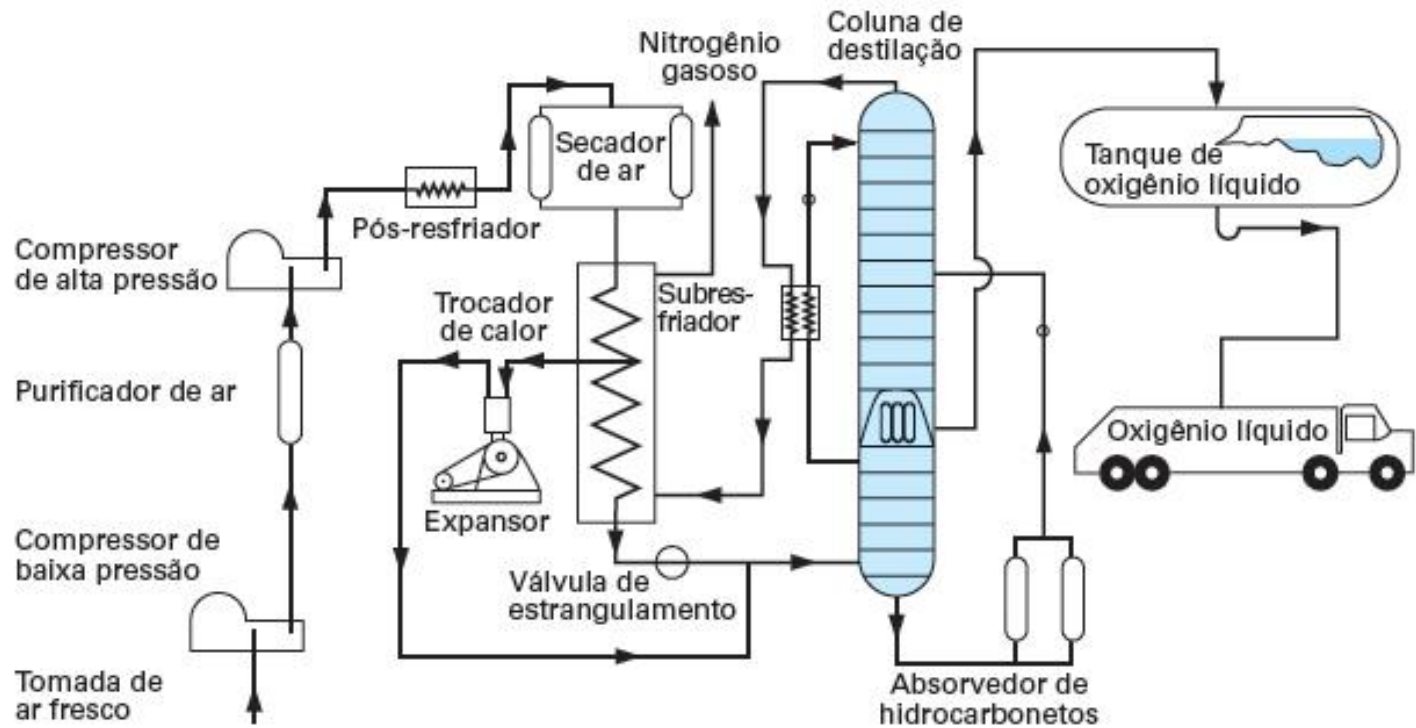
Em 1915, Arthur Little estabeleceu o conceito de “Operação Unitária”, segundo o qual um processo químico seria dividido em uma série de etapas que podem incluir: transferência de massa; transporte de sólidos e líquidos, destilação, filtração, cristalização, evaporação, secagem, etc.

## INTRODUÇÃO:

- Cada uma das etapas sequenciais de uma linha de produção industrial é, portanto, uma operação unitária.
- O conjunto de todas as etapas compõe um PROCESSO UNITÁRIO.
- Operações Unitárias são sequencias de operações físicas necessárias à viabilização econômica de um processo químico.

## TIPOS DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS

- Mecânicas.
- Transferência de calor.
- Transferência de massa.



**Figura 1.9**

Diagrama simplificado de uma instalação de oxigênio líquido.

Figura retirada do material de apoio do livro Termodinâmica - Van Wylen, Borgnakke, Sonntag

## INTRODUÇÃO:

- OPERAÇÕES UNITÁRIAS MECÂNICAS: São as operações de transporte e separação de fluídos.
- CONCEITOS DE MECÂNICAS DOS FLUÍDOS.

**Definição de Fluídos:** É uma substancia, que ao ser submetido a uma tensão de cisalhamento, ao invés de deformar-se como um sólido, escoa. São basicamente, líquidos, gases e partículas fluidizadas.

Para o estudo das operações de transporte e separação de fluídos, é importante o conceito de mecânica dos fluídos, ou seja, o comportamento desses fluídos quando submetidos a uma força.

Características dos fluídos mais importante para dimensionamento de equipamentos e processos: Viscosidade e pressão.

## INTRODUÇÃO:

➤ Transporte e armazenamento de Fluidos.

- Bombas

Centrífugas (rotor).

Deslocamento positivo (pistão).

-Válvulas (Controle e bloqueio).

- Tubulações.

- Medidores de vazão.

- Vasos Pressurizados.

- Mistura e agitação.

## INTRODUÇÃO:

- Separações Mecânicas em Fluídos.
  - Centrifugação.
  - Filtração.
  
- Operações Mecânicas envolvendo sistemas de sólidos granulares.
  - Fragmentação
  - Transporte
  - Peneiramento
  - Mistura
  - Armazenamento



## INTRODUÇÃO:

### ➤ OPERAÇÕES UNITÁRIAS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

São as operações de trocas térmicas entre fluídos.

Mecanismos de troca de calor:

- Condução – Contato entre dois corpos.
- Convecção – Mistura de fluídos.
- Radiação – Ondas de calor.

Principais Equipamentos de Transferência de Calor.

- Trocadores de calor.
- Evaporadores.

Trocadores de calor: Casco e tubos. Os mais utilizados.

## INTRODUÇÃO:

### ➤ OPERAÇÕES UNITÁRIAS DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA

São as operações de fluídos miscíveis.

- Propriedades das soluções: Principalmente diferenças de ponto de Ebulição. Volatilidade relativa.

- Principais operações de transferência de massa.

- Destilação.
- Adsorção – soluções líquido gás.
- Absorção
- Extração líquido-líquido
- Cristalização
- Troca iônica
- Secagem de sólidos

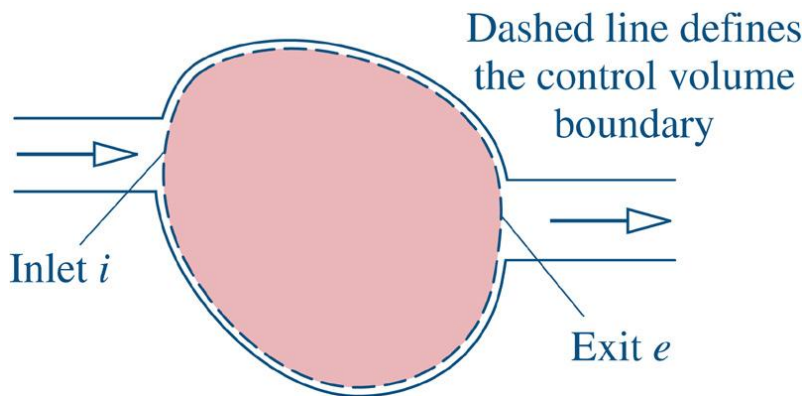
## INTRODUÇÃO:

- Quais são as duas leis que descrevem todos os fenômenos mencionados anteriormente?
- Lei Universal da Conservação da Massa;
- Lei Universal da Conservação da Energia.

## INTRODUÇÃO:

### ➤ Balanço de Massa para um Volume de Controle.

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Taxa temporal de variação} \\ \text{de massa contida no interior} \\ \text{do volume de controle no} \\ \text{instante } t \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{Taxa temporal de fluxo de} \\ \text{massa através da entrada e} \\ \text{no instante } t \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{l} \text{Taxa temporal de fluxo de} \\ \text{massa através da saída } s \text{ no} \\ \text{instante } t \end{array} \right]$$



$$\frac{dm_{vc}}{dt} = \dot{m}_{\text{entrada}} - \dot{m}_{\text{saída}}$$

Para "n" entradas e saídas, temos:

$$\frac{dm_{vc}}{dt} = \sum_{\text{entrada}} \dot{m}_{\text{entrada}} - \sum_{\text{saída}} \dot{m}_{\text{saída}}$$

Para regime permanente

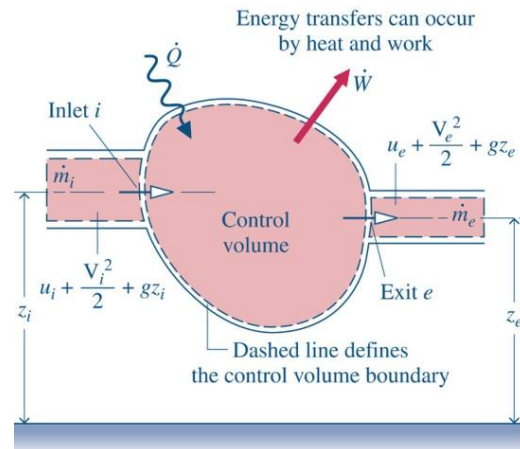
$$\underbrace{\sum_{\text{entrada}} \dot{m}_{\text{entrada}}}_{\text{Taxa de entrada de massa}} = \underbrace{\sum_{\text{saída}} \dot{m}_{\text{saída}}}_{\text{Taxa de saída de massa}}$$

## INTRODUÇÃO:

### ➤ Balanço de Energia para um Volume de Controle.

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Taxa temporal de} \\ \text{variação da energia} \\ \text{contida no interior do} \\ \text{volume de controle} \\ \text{no instante } t \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{Taxa líquida na} \\ \text{qual a energia está} \\ \text{sendo transferida} \\ \text{para dentro por} \\ \text{transferência de} \\ \text{calor no instante } t \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{l} \text{Taxa líquida na} \\ \text{qual a energia} \\ \text{está sendo} \\ \text{transferida para} \\ \text{fora por trabalho} \\ \text{no instante } t \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{Taxa líquida da} \\ \text{energia transferida} \\ \text{para o volume de} \\ \text{controle} \\ \text{juntamente com} \\ \text{fluxo de massa} \end{array} \right]$$

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \sum_{\text{entrada}} \dot{m}_{\text{entrada}} \left( h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum_{\text{saída}} \dot{m}_{\text{saída}} \left( h_s + \frac{V_s^2}{2} + gz_s \right)$$



## INTRODUÇÃO:

### ➤ Máquinas Hidráulicas.

**Definição:** As máquinas hidráulicas promovem as trocas entre as energias mecânicas e hidráulica e se dividem em dois grupos :

**1. Máquinas geratrizes (Turbinas):** transformam a energia hidráulica em energia mecânica, quando o fluído é impelido contra as suas pás e produz um conjugado no eixo:

#### A. Turbinas Hidráulicas :

- a. Francis : de reação, radiais e de pás fixas
- b. Propeller : de reação, axiais e de pás fixas
- c. Kaplan : de reação, axiais, de pás orientáveis
- d. Pelton : de impulsão, jato tangenciais

B. Rodas d'água : o fluído vem por um canal, sendo impelido contra as pás, provocando um conjugado no motor, a água atua por peso ou por velocidade, em geral prevalecendo uma delas.

## INTRODUÇÃO:



Turbina Francis  
(Radial)



Turbina Kaplan  
(Axial)



Turbina Pelton  
(Tangencial)

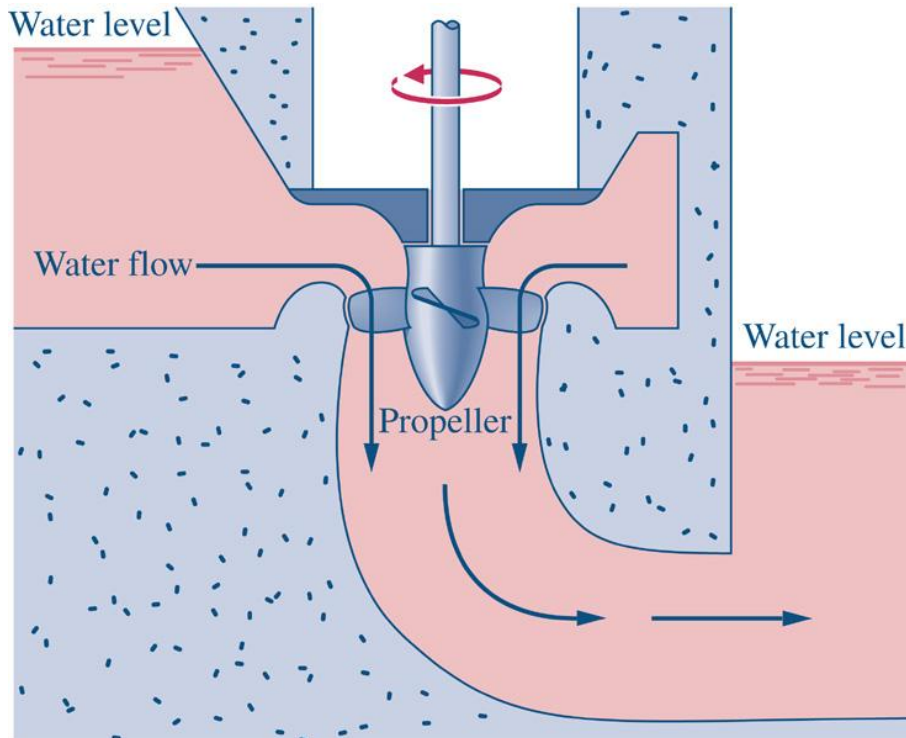


Turbina Propeler  
(Axial)

## INTRODUÇÃO:

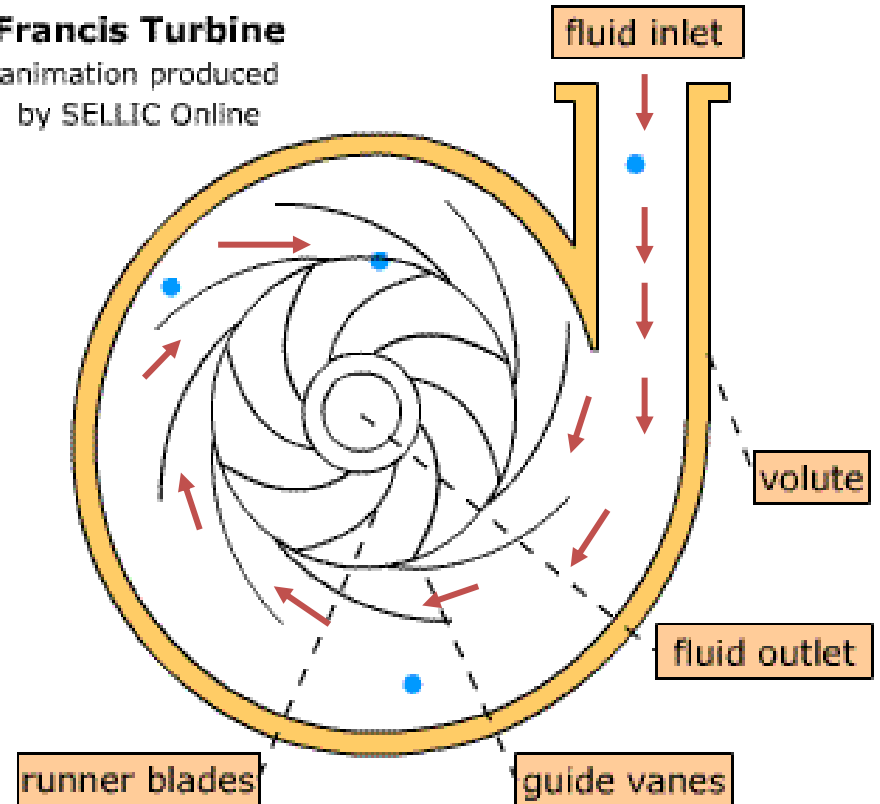
Esquema de funcionamento de uma turbina hidráulica

Turbina Hidráulica instalada em um dique



### Francis Turbine

animation produced  
by SELLIC Online



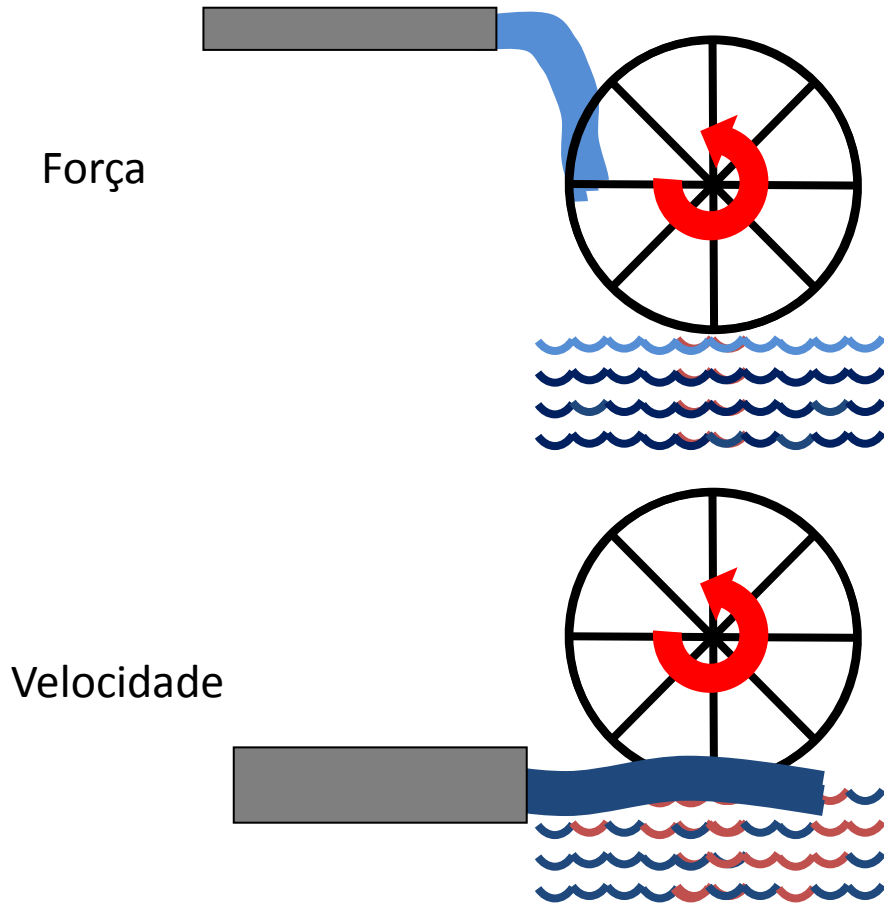


## INTRODUÇÃO:

Usina	Tipo	H (m)	Q (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	N (rpm)	N (CV)
Itaipú - Rio Paraná	Francis	120	660	94,2	971.500
Paulo Afonso IV - Rio São Francisco	Francis	135	385	120	577.600
Itumbiara - Rio Paranaíba	Francis	80	522	94,7	481.000
Água Vermelha - Rio Grande	Francis	139,9	500	95	312.712
São Simão - Rio Paranaíba	Francis	71,3	420	94,7	370.000
Foz de Areia - Rio Iguaçu	Francis	29,8	302	128,6	457.000
Tucuruí - Rio Tocantins	Francis	60,8	576	85	429.880
Estreito - Rio Grande	Francis	60,8	306,5	113,5	231.000
Furnas (Alpinópolis) - Rio Grande	Francis	88,9	190	150	210.000
Ilha Solteira - Rio Paraná	Francis	46	389	86	225.000
Marinbondo - Rio Grande	Francis	60,3	319	100	242.000
Salto Osório - Quedas Iguaçu	Francis	72	240	120	214.500
Passo Fundo - Rio Passo Fundo	Francis	253	48	300	150.000
Porto Colômbia - Rio Grande	Francis	19,3	464	86	111.000
Xavantes - Rio Paranapanema	Francis	73,7	141,5	129	144.000
Capivara - Rio Paranapanema	Francis	48,4	375	100	225.000
Promissão - Rio Tiête	Kaplan	25,0	380	90	120.000
Jupiaá - Rio Paraná	Kaplan	25,4	400	98	140.000
Porto Primavera - Rio Paraná	Kaplan	19,2	751	67	177.000
Sobradinho - Rio São Francisco	Kaplan	27,2	715	75	242.000
Moxotó - Rio São Francisco	Kaplan	21,0	550	80	150.057
Bernardo Mascarenhas (Três Marias) - Volta Grande - Rio Grande	Kaplan	57,2	150	164	90.000
Jupiaá - rio Paraná	Kaplan(5pás)	26,2	430	85,7	140.038
Barra Bonita - Rio Tiête	Kaplan	23	462	78,4	107.060
Parigot de Souza - Rio Capivari	Kaplan	24	148	129	47.400
Parigot de Souza - Rio Capivari	Pelton	714,3	10	514	87.200
Cubatão 1- Henry Borden	Pelton	719,5	12	360	92.274
Cubatão 2 - Fonte, (primitiva)	Pelton	684	12,7	150	89.232
Fontes antigas - Rio Pirai	Pelton	310	1,53	1094	19.264

# INTRODUÇÃO:

## Rodas d'água



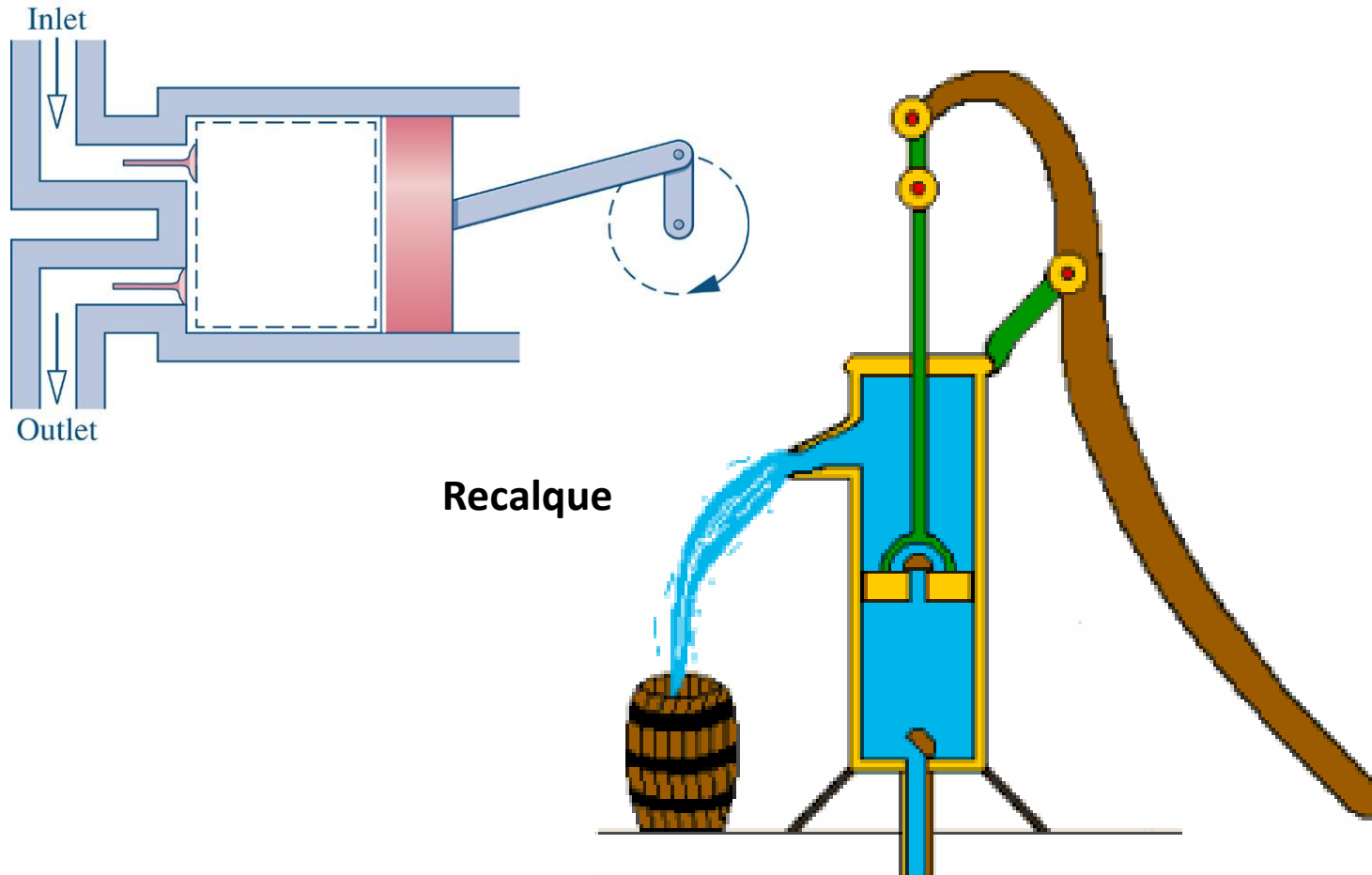
## INTRODUÇÃO:

- **Máquinas Motrizes: BOMBAS**
- Transformam o trabalho mecânico em energia hidráulica, comunicando ao líquido um acréscimo de energia na forma de energia potencial de pressão e cinética:
  - Bombas:
    - Deslocamento positivo
    - Bombas centrífugas
    - Bombas especiais

## INTRODUÇÃO:

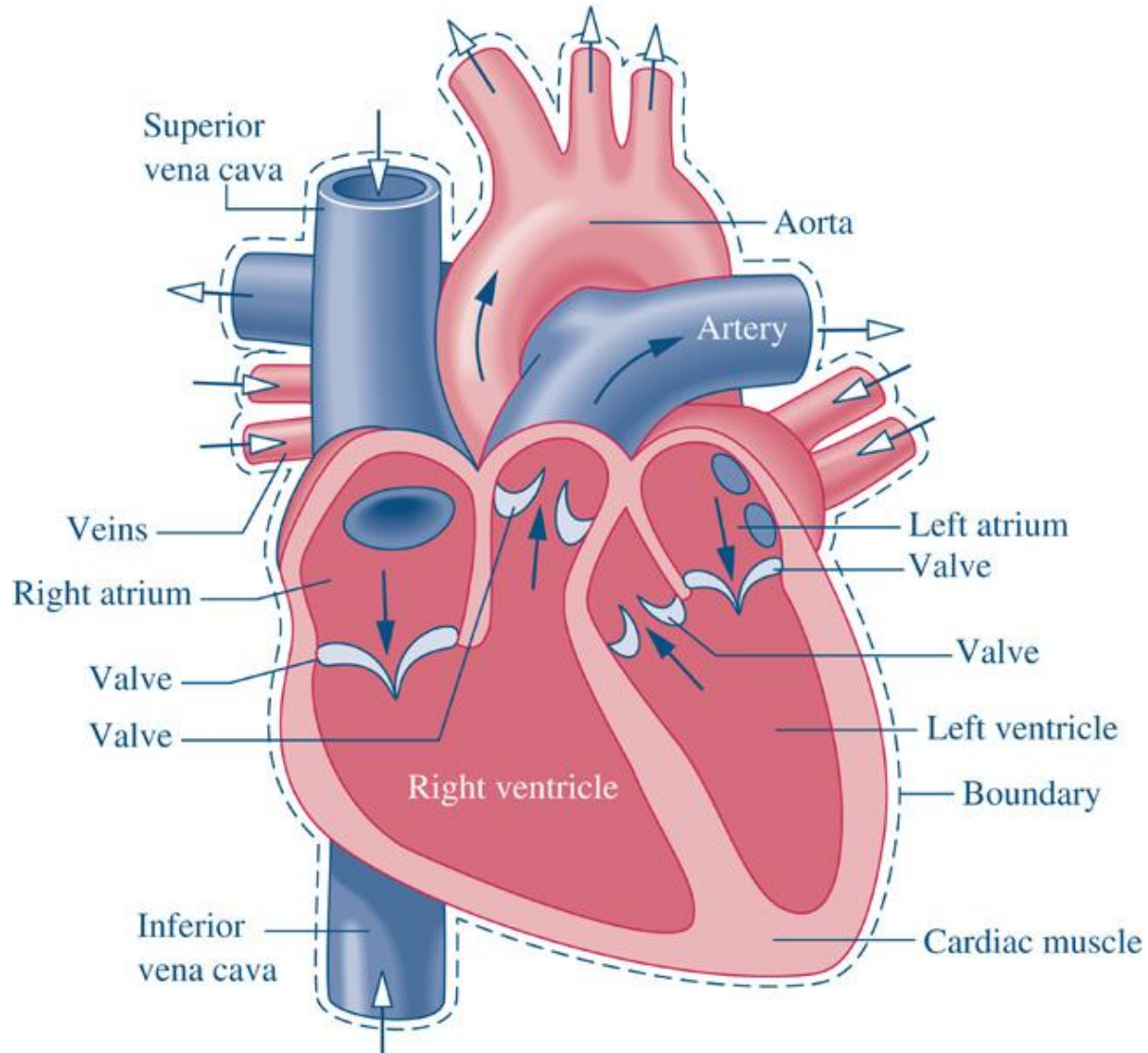
Esquema básico de uma bomba de deslocamento positivo.

O fluido pulsa.



## INTRODUÇÃO:

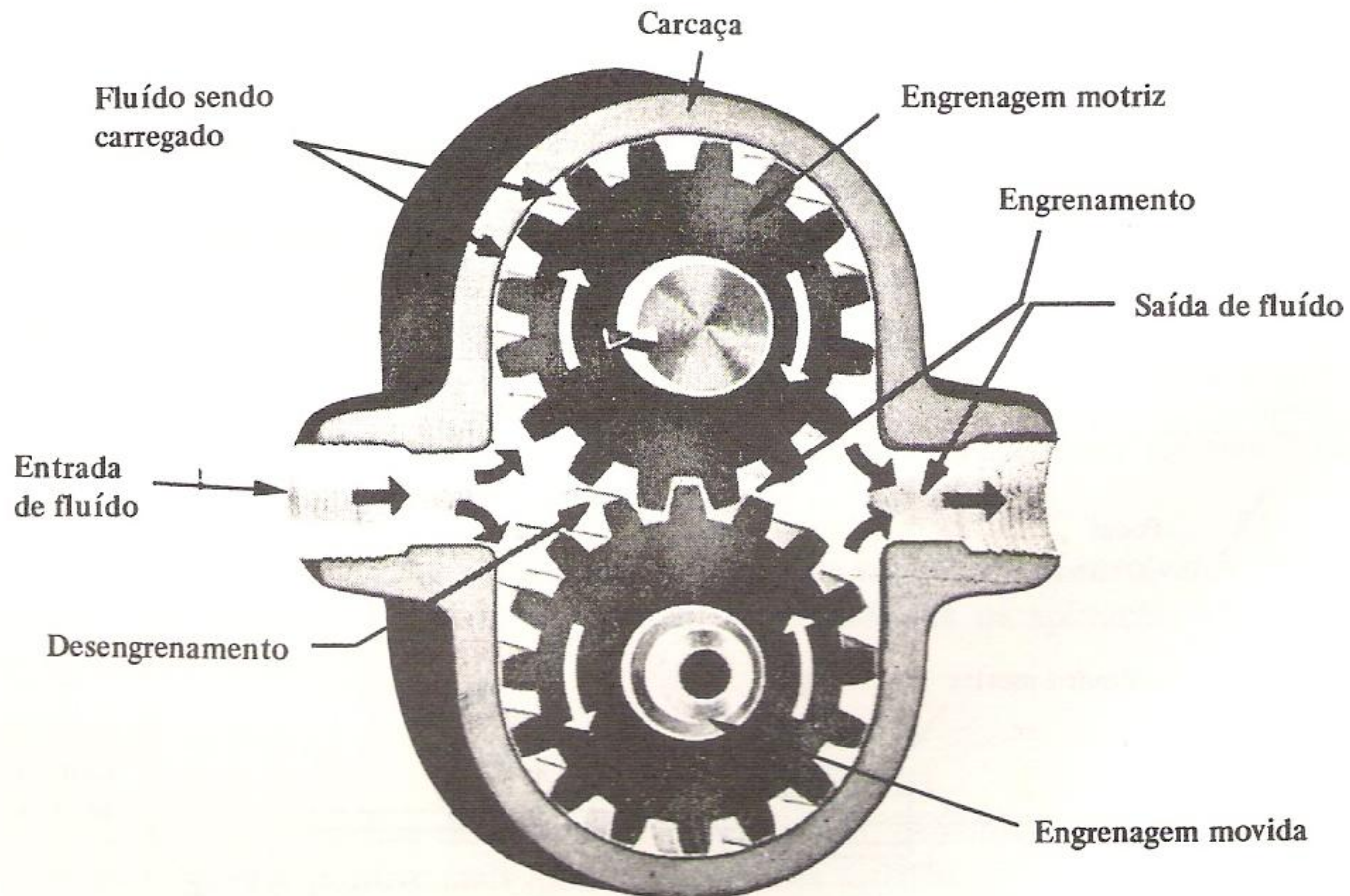
Exemplo de uma bomba de deslocamento positivo



## INTRODUÇÃO:

Exemplo de uma bomba rotativa (Volumétricas).

Bomba de engrenagem cria uma determinada vazão devido ao constante engrenamento e desengrenamento de duas ou mais rodas dentadas.







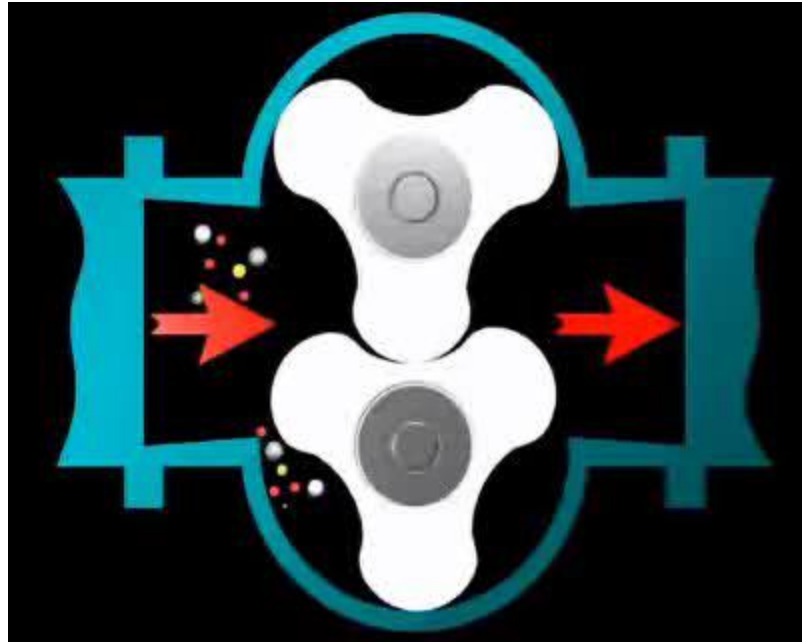
## INTRODUÇÃO:

Exemplo de uma bomba Rotativa.

- Bomba de lóbulos.







## INTRODUÇÃO:

### Bombas.

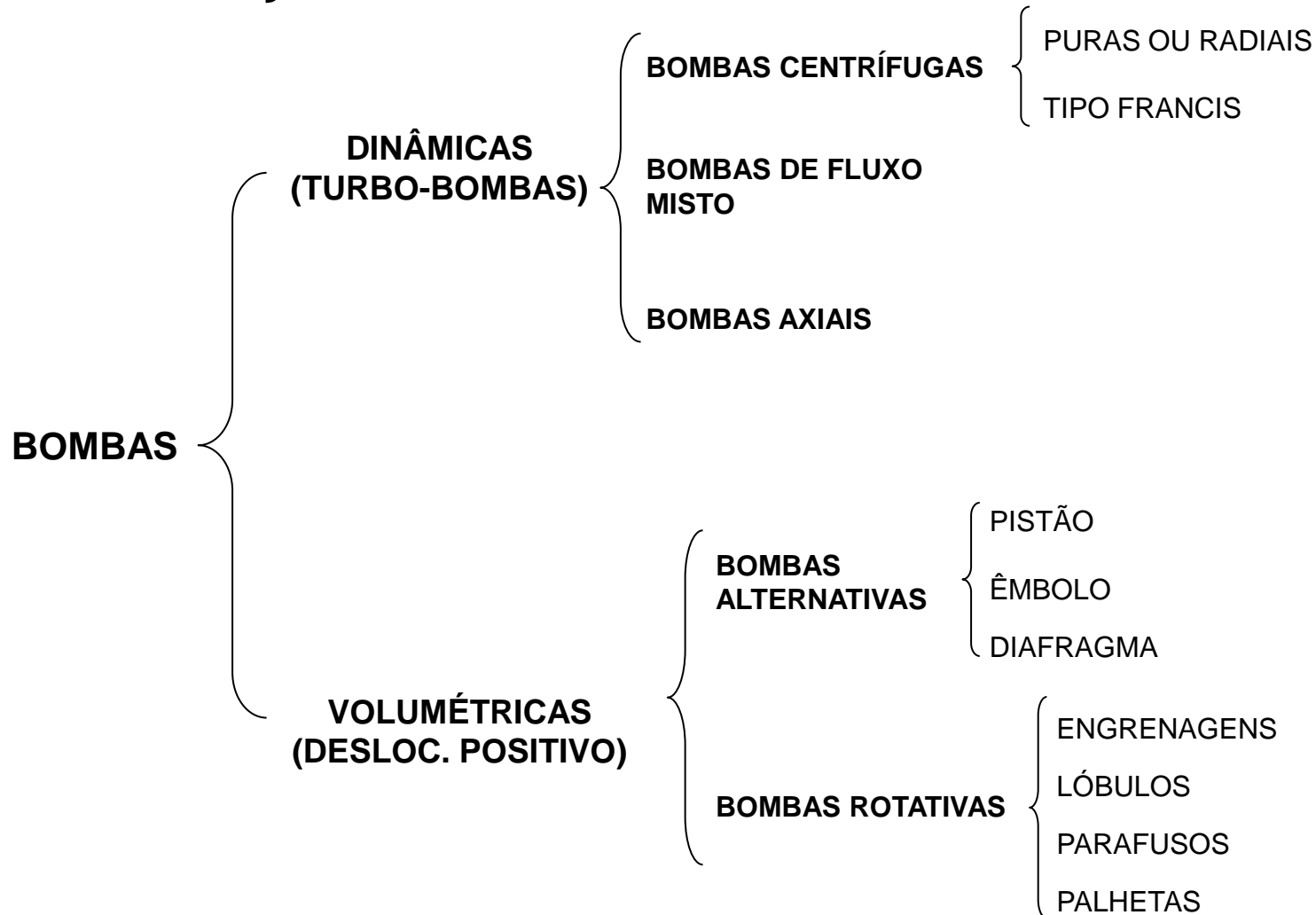
➤ Definição: São máquinas operatrizes hidráulicas que entregam energia a uma massa **líquida** com a finalidade de transportá-la de um ponto a outro atendendo a certas condições de processo. As bombas recebem energia em seu eixo de uma fonte externa e entregam parte desta energia ao líquido que circula em seu interior sob forma de energia cinética, energia de pressão ou ambas.

➤ A relação entre a energia entregue a bomba e a energia cedida ao fluído recebe o nome de rendimento da bomba.



# INTRODUÇÃO:

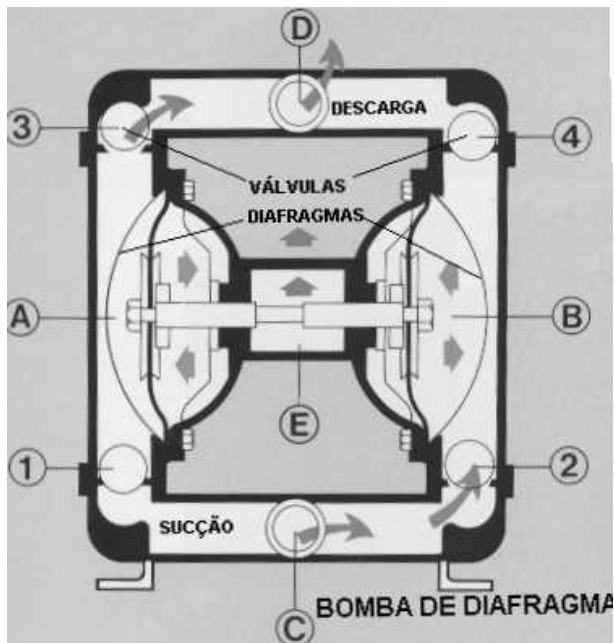
## Classificação das Bombas.



# Bombas

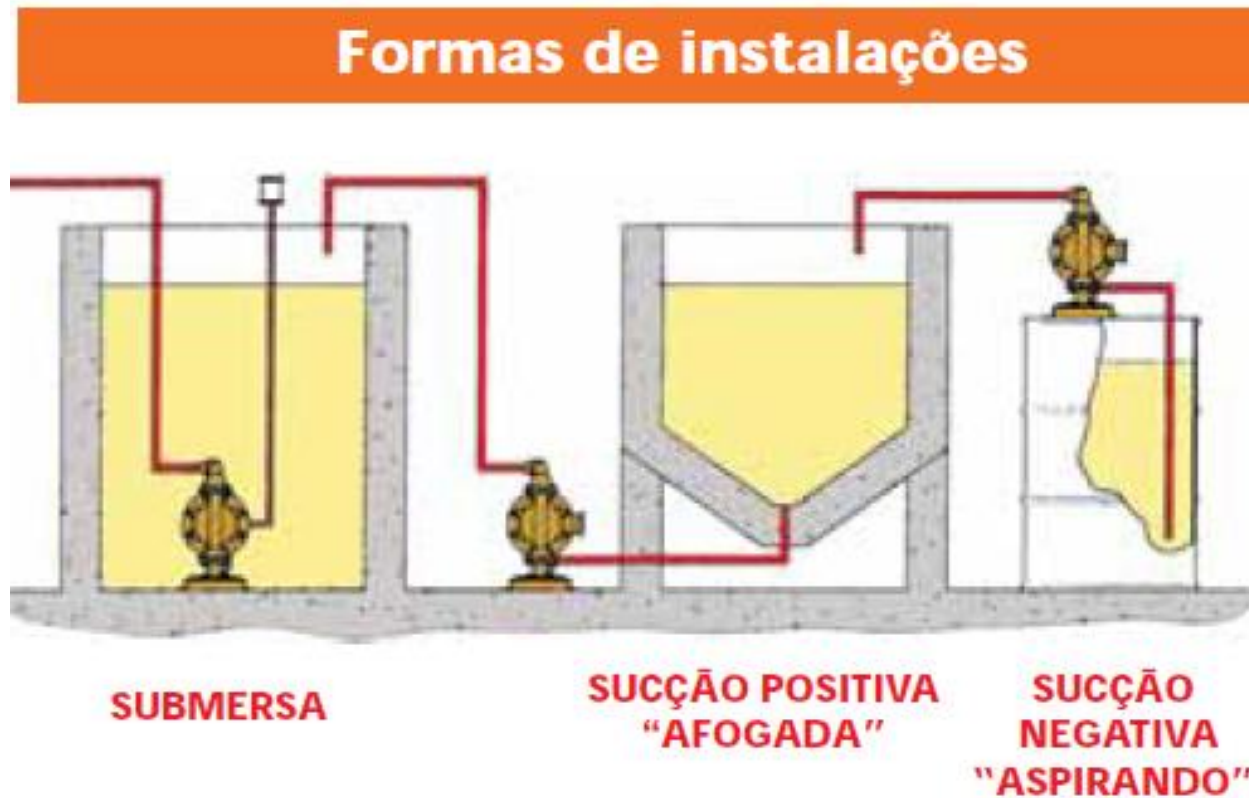
## ➤ Bomba Diafragma.

- Vazões de até 10 gpm aproximadamente;  
Fluído bombeado não contamina o meio e não vaza;  
Limites de pressão de descarga e de temperatura do fluido definidos pelo material do diafragma.



## Bombas

- Bomba Diafragma.
- Formas de instalações.



# Comparação entre bombas de deslocamento positivo e turbo bombas.

<b>VOLUMÉTRICAS (DESLOC. POSITIVO)</b>	<b>TURBO BOMBAS</b>
SÃO AUTO-ESCORVANTES	PRECISAM ESTAR CHEIAS DE LÍQUIDO
VAZÃO INDEPENDENTE DA ALTURA OU PRESSÃO	POSSUI UMA CURVA VAZÃO X ALT. MANOMÉTRICA
DÃO ENERGIA DE PRESSÃO EXCLUSIVAMENTE	O IMPELIDOR DÁ ENERGIA CINÉTICA E DE PRESSÃO
NECESSITAM DE DISPOSITIVO DE ALÍVIO NA DESCARGA	NÃO NECESSITAM DE DISPOSITIVO DE ALÍVIO NA DESCARGA
LÍQUIDO E ÓRGÃO IMPULSIONADOR TEM O MESMO MOVIMENTO	LÍQUIDO E ÓRGÃO IMPULSIONADOR NÃO TEM MOVIMENTOS ABSOLUTAMENTE IGUAIS
VAZÃO PULSANTE (ALTERNATIVAS)	VAZÃO CONSTANTE AO LONGO DO TEMPO

## Exercícios:

- 1- O que é Operação Unitária e quais os tipos existentes, explique?
- 2 – Qual a relação das duas leis universais da Conservação da Massa e da Energia com a Operação Unitária?
- 3 – O que um processo unitário?
- 4 – O que são máquinas hidráulicas ? Como a energia e a massa são transportados por essas máquinas?
- 5 – Defina bombas hidráulicas e sua classificação.
- 6 – Compare as características entre bombas de deslocamento positivo e turbo bombas.