

# ***Compressores***

Profa. Alessandra Lopes de Oliveira  
FZEA/USP

## **Compressores**

---

- **Função:**
  - aspirar vapor do evaporador (mantendo P e T desejadas)  $\Rightarrow$  comprimir o vapor a determinada P e T e deslocar o refrigerante no circuito frigorífico.

## **Eficiência**

---

- A performance de um compressor pode ser dada como:

$$\frac{\text{Capacidade}}{\text{Energia consumida}}$$

### **5.1. Eficiência**

---

- **Capacidade:** depende das P de evaporação e condensação, usualmente é dada por kcal/h ou kJ/h mas a capacidade real deveria ser dado pelo deslocamento máximo do refrigerante;
- A capacidade ideal de um compressor é função da massa do gás deslocado por unidade de tempo que é tratada como sua eficiência ou rendimento.

## 5.1. Eficiência

- A eficiência ou rendimento volumétrico de um compressor é a razão entre o **volume do vapor que entra na câmara de compressão** pela **mudança volumétrica** nesta câmara:

$$\eta = 100 - \varepsilon \left[ \frac{P_{\text{descarga}}}{P_{\text{aspiração}}} \right]^{\frac{1}{n}} - 1$$

$\varepsilon$  = Porcentagem de volume perdido;

$n$  = expoente isoentrópico;

$n = 1$  p/ expansão isotérmica;

$n = k = C_p/C_v$  p/ expansão adiabática;

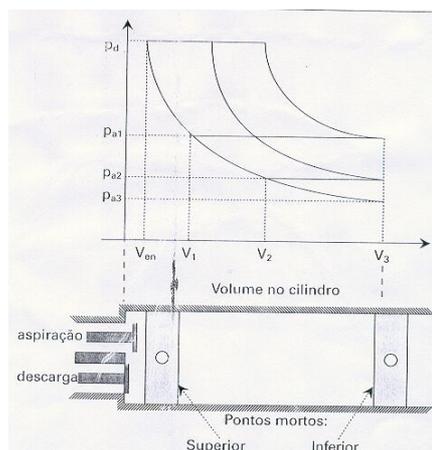
## 5.1. Eficiência

- **Definição:**
  - Em compressores alternativos as válvulas são operadas por molas;
  - Quando a P diminui até a da linha de aspiração (um pouco menor) a válvula de aspiração se abre e o gás entra no cilindro;
  - Quando a P atinge (no interior do cilindro) o valor da P de descarga (um pouco maior) a válvula de descarga se abre e o gás comprimido sai.

## 5.1. Eficiência

### ● Volume do espaço nocivo:

- % de volume deslocado pelo pistão (sempre fica um pouco de gás retido no cilindro).



## 5.1. Eficiência

### ● Fração de Espaço nocivo (% de volume perdido)

$$\varepsilon = 100 \left( \frac{V_{en}}{V_3 - V_{en}} \right)$$

### ● Volume do gás efetivamente no cilindro: $V_3 - V_1$

$$\eta_{en} = 100 \left( \frac{V_3 - V_1}{V_3 - V_{en}} \right)$$

Rendimento volumétrico do espaço nocivo

## 5.1. Eficiência

- Reescrevendo  $\eta_{en}$  em termos de  $\varepsilon$  e considerando:

$$\frac{V_1}{V_{en}} = \frac{V \text{ aspiração}}{V \text{ descarga}}$$

- Têm-se:

$$\eta_{en} = 100 - \varepsilon \left[ \left( \frac{V \text{ aspiração}}{V \text{ descarga}} \right) - 1 \right]$$

## 5.1. Eficiência

$$\frac{V \text{ aspiração}}{V \text{ descarga}} = \left( \frac{P \text{ descarga}}{P \text{ aspiração}} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$\text{Adiabático: } p \propto \frac{1}{V^\gamma} \text{ onde } \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

$$\text{Isotérmico: } p \propto \frac{1}{V}$$

$$n = 1 \Rightarrow \text{expansão isotérmica; } \eta_{en} = 100 - \varepsilon \left[ \left( \frac{P \text{ descarga}}{P \text{ aspiração}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]$$

$$n = \frac{C_p}{C_v} \Rightarrow \text{expansão adiabática.}$$

## **5.2. Conjunto Motor-Compressor**

- **Motor:** aciona o compressor.
- A montagem do compressor com o motor pode caracterizá-lo como:
  - **Abertos;**
  - **Semi-herméticos;**
  - **Herméticos:**

## **5.2. Conjunto Motor-Compressor**

- **Compressores Abertos:**
  - Operado por motor independente acoplado por meio de correias ou polias;
  - Montados sobre conjuntos parciais “unidades condensadoras”;
  - Tem fácil manutenção, possibilita o uso de motores elétricos (sistemas de acionamento);

## 5.2. Conjunto Motor-Compressor

- **Compressores Abertos:**

- Os motores podem ser removidos e separados sem qualquer ação sobre o sistema que contém o refrigerante;
- **Ponto fraco:** selo de vedação que poderá deixar escapar o refrigerante.

## 5.2. Conjunto Motor-Compressor



## **5.2. Conjunto Motor-Compressor**

### ● **Compressores Herméticos:**

- Motor + compressor: hermeticamente fechado;
- Não há problemas do refrigerante escapar;
- Custo relativamente baixo;
- Grande aplicação na refrigeração doméstica e algumas na comercial.

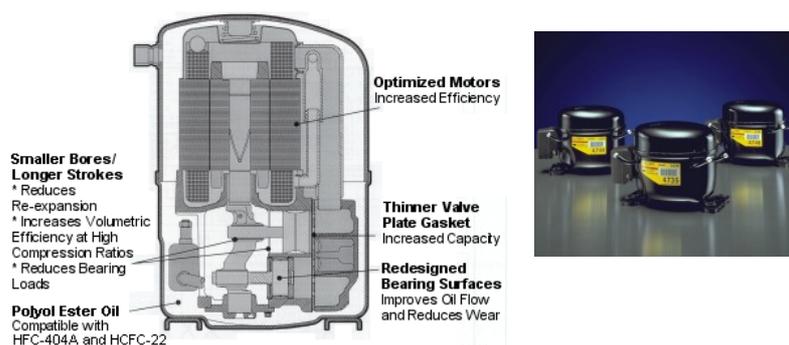
## **5.2. Conjunto Motor-Compressor**

### ● **Compressores Herméticos:**

- Os motores são projetados economicamente para ocuparem menor espaço, e se queimar é necessário trocar toda a unidade;
- Não se recomenda a abertura da caixa metálica para substituição ou conserto;
- Têm boa eficiência e são, relativamente silenciosos.

## 5.2. Conjunto Motor-Compressor

### Copeland Hermetic Refrigeration Compressor

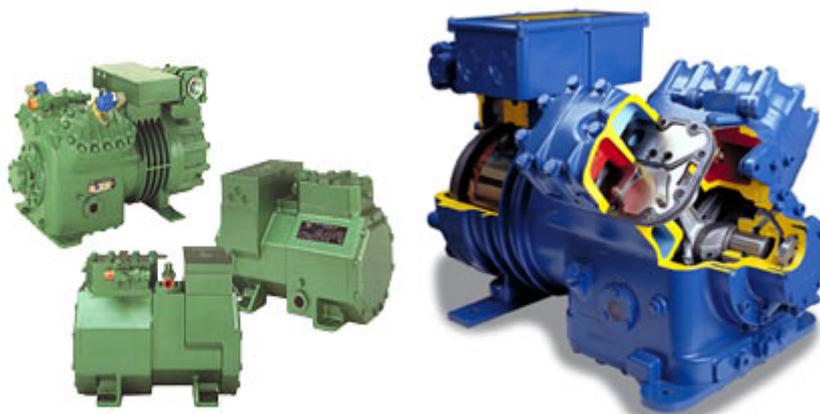


## 5.2. Conjunto Motor-Compressor

### ● Compressores semi-herméticos:

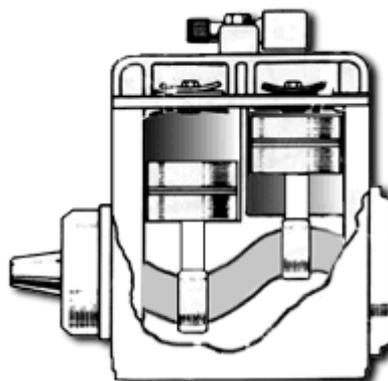
- O motor vem incorporado, mas ao invés do conjunto motor-compressor ser montado dentro da caixa selada há um acoplamento hermético que permite a desmontagem do compressor;
- Herméticos e semi-herméticos: são usados para halogenados devido à incompatibilidade da amônia com os materiais do motor.

## 5.2. Conjunto Motor-Compressor



## 5.3. Compressores recíprocos

- **Princípio de operação:**
  - Movimento de um pistão dentro de um cilindro com uma válvula de sucção e outra de descarga;
  - É uma bomba de deslocamento positivo.



### 5.3. Compressores recíprocos

- Vapor é aspirado (6);
- Aspiração do pistão é acionada pelo conjunto biela-girabrequim (9);
- Instalado no interior do cárter (5) onde há óleo para lubrificação;
- Pistão sobe, comprime o vapor, a válvula de sucção se fecha e a de descarga é aberta.

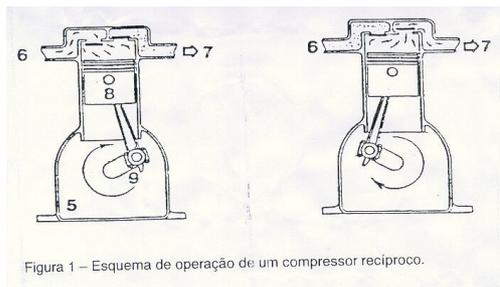


Figura 1 – Esquema de operação de um compressor recíproco.

### 5.3. Compressores recíprocos

- **Compressores de duplo estágio:**
  - Construídos com pistões para o lado de baixa e outros para o lado de alta;
  - **Pistões de baixa:** são interligados com o evaporador e resfriador intermediário;
  - **Pistões de alta:** conectados à aspiração do resfriador intermediário e descarrega o vapor no condensador

#### 5.4. Efeito da temperatura de evaporação sobre a capacidade frigorífica

---

- Vapor formado no evaporador  $\Rightarrow v$ ;
- Quanto  $\uparrow T \Rightarrow \uparrow v$  do vapor;
- O volume de aspiração do compressor é fixo;
- Se o  $v$  do vapor é maior  $\Rightarrow$  maior deverá ser a massa de vapor refrigerante circulada para a mesma capacidade;
- Maior massa de refrigerante circulada  $\Rightarrow$  maior a capacidade requerida;
- $\uparrow$  capacidade requerida  $\Rightarrow$  quando  $\uparrow$  a  $T$  evaporação

#### 5.4. Efeito da temperatura de evaporação sobre a capacidade frigorífica

---

- **Exemplo:** O deslocamento de um compressor de 2 cilindros é de  $0,47\text{m}^3/\text{min}$ , considerando uma eficiência de 100% se o líquido atinge o controle de refrigerante à  $37^\circ\text{C}$ , em cada caso determine a massa de refrigerante circulada por minuto e a capacidade teórica de refrigeração do compressor quando operando em qualquer uma das seguintes temperaturas de admissão:
  - a)  $-12^\circ\text{C}$ ;
  - b)  $4^\circ\text{C}$ ;
  - refrigerante R-22

## 5.5. Demais considerações sobre compressores

---

- Do ponto de vista de operação é mais econômico instalar 2 compressores para uma determinada carga térmica do que somente 1 para a carga total:
  - Quando ocorre carregamento em uma câmara fria  $\Rightarrow$  carga total (capacidade total dos compressores);
  - Após resfriamento do produto  $\Rightarrow$  somente 1 compressor é necessário para manter a temperatura de armazenamento;
  - Caso falhe 1 compressor existe outro.

## 5.5. Demais considerações sobre compressores

---

- **Lubrificação:**
  - Óleo lubrificante diminui o atrito entre as partes móveis do compressor;
  - O óleo é colocado no carter  $\Rightarrow$  segue através de força centrífuga pelas partes que necessitam de lubrificação  $\Rightarrow$  volta para o carter;
  - O óleo se mistura com refrigerante dentro do compressor  $\Rightarrow$  separador de óleo é importante na saída do compressor  $\Rightarrow$  evita o arraste para o resto do sistema.
  - O óleo com o tempo adere no evaporador e condensador  $\Rightarrow$   $\downarrow$  a Transferência de calor.

## 5.5. Demais considerações sobre compressores

---

- **Compressor tipo seco:**
  - As partes em contato com refrigerante não recebem lubrificação;
  - São lubrificados  $\Rightarrow$  biela e virabrequim.

## 5.5. Demais considerações sobre compressores

---

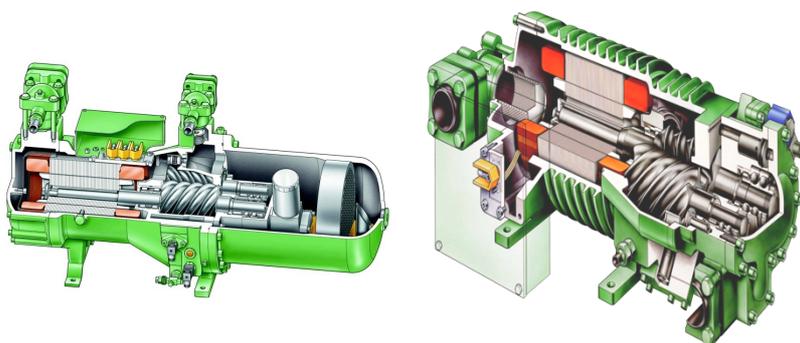
- **Efeito de subresfriamento e superaquecimento no desempenho do compressor:**
  - **Superaquecimento:** a massa de refrigerante circulada pelo compressor / tempo deverá ser maior que quando o vapor é saturado;
  - **Subresfriamento:** o  $v$  do vapor de sucção não é afetado pelo subresfriamento, a massa de refrigerante circulado será a mesma.

## 5.6. Compressores Helicoidais

- Também conhecido como parafuso;
- Têm uma ou duas peças em forma de parafuso sem fim onde o fluxo do refrigerante é direcionado axialmente.



## 5.6. Compressores Helicoidais

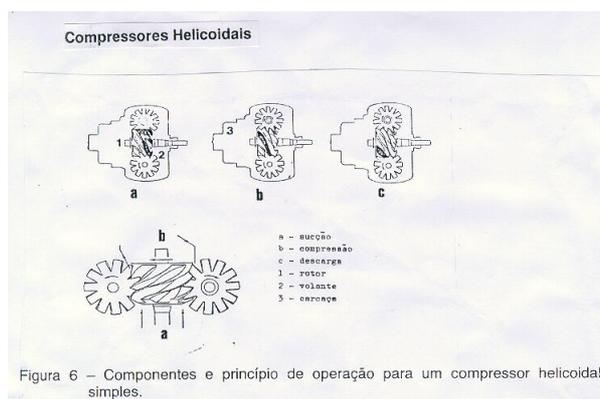


## 5.6. Compressores Helicoidais

- **Parafuso simples:**

- Tem um rotor principal operando com um par de volantes com aspecto de estrela;
- Rotor + parafuso  $\Rightarrow$  instalados no interior de uma carcaça acionados por motores de alta velocidade;
- Com a rotação do parafuso ocorre a compressão.

## 5.6. Compressores Helicoidais



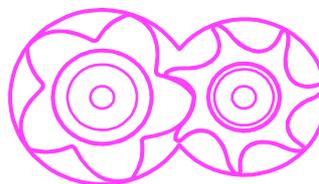
## 5.6. Compressores Helicoidais



## 5.6. Compressores Helicoidais

- **Duplo parafuso:**

- Tem dois rotores, o macho provido de lóbulos e o rotor fêmea com canais que recebe a ação dos lóbulos;
- Rotor macho é lubrificado e movimenta o conjunto. A rotação fica entre 2400 a 3600 RPM e pode ser regulada em função da capacidade desejada.



## 5.6. Compressores Helicoidais

### ● Duplo parafuso:

- Alguns modelos permitem variar o volume deslocado;
- Estes compressores tem aberturas de entrada e saída fixas ao invés de válvulas, o grau de compressão depende destas aberturas;
- Para maior eficiência a pressão entre os lóbulos durante a compressão deve ser igual a da linha de alta quando atinge a abertura de descarga. Pressões maiores ou menores reduzem a eficiência;

## 5.6. Compressores Helicoidais

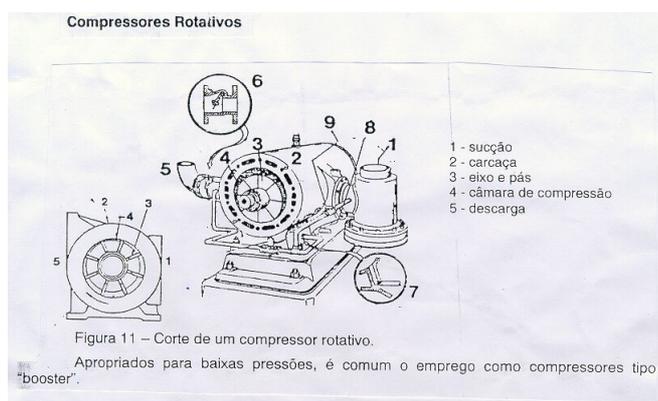
### ● Duplo parafuso:

- Para aumentar a eficiência óleo é injetado na área de compressão agindo como lubrificante e resfriador, assim é necessário um trocador de calor para baixar a temperatura do óleo cujo meio de resfriamento pode ser água ou líquido do refrigerante;
- Tem alto nível de ruído ⇒ proteção sonora é exigida;
- Tem menor peso e ocupa menor espaço que os recíprocos para uma mesma capacidade frigorífica;
- Tem menor números de peça móveis como vantagem, mas exige um separador e resfriador de óleo mais sofisticado.

## 5.7. Compressores Rotativos

- Possuem um eixo que gira no interior da carcaça com uma série de pás onde, entre elas, é comprimido o refrigerante;
- Próprio para baixas pressões, é comum ser empregado como compressores tipo “booster” (compressor de baixa em um sistema de dois estágio).

## 5.7. Compressores Rotativos



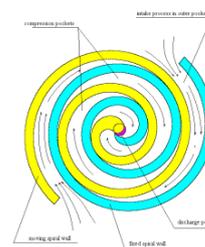
## 5.7. Compressores Rotativos



## 5.8. Compressores Centrífugos

- A força centrífuga desloca o refrigerante;
- O aumento da P é feito pelo efeito dinâmico;
- Refrigerante de elevado peso molecular (R-114) são os mais indicados;
- São operados à altas velocidades;
- São utilizados para temperatura de ar condicionado ou resfriamento de H<sub>2</sub>O.

## 5.8. Compressores Centrífugos



## 5.9. Seleção

- Os cálculos dos fatores que influem no desempenho do compressor não são práticos;
- A capacidade e a potência do compressor são determinadas com segurança através do teste real do compressor feito por cada fabricante.

## 5.9. Seleção

---

- **Na seleção utiliza-se tabelas do fabricante com os seguintes dados:**
  - Capacidade de refrigeração requerida;
  - Temperatura de sucção (temperatura de saturação do refrigerante na saída do evaporador) considerando perda de carga na tubulação de admissão;
  - Temperatura de escape (temperatura de condensação) considerando o tamanho do condensador e a temperatura do agente de condensação.