

# COMPRESSORES DE REFRIGERAÇÃO (PARAFUSO DUPLO OU GÊMEOS)



# INTRODUÇÃO

O compressor é uma máquina que actua como o coração dum sistema, accionado por electricidade ou por tracção mecânica (correias, polias, etc.). É concebido para aumentar a pressão dum fluido, e por sua vez, criar o fluxo do mesmo ao longo dos componentes do sistema.

Na refrigeração, são desenvolvidos com um objectivo particular, promover a compressão do fluido frigorígeno do sistema, necessário para manter em funcionamento o ciclo (expansão-compressão).

Existem basicamente 4 tipos de compressores na refrigeração, são:

- Segundo ao tipo de **compressão**:

- Alternativos (Pistão ou Pistões)
- Centrífugos (Alhetas)
- Axiais
- Rotativos (Parafusos, Palhetas, Scroll)

- Segundo a sua **construção** são divididos em quatro grupos (tipos):

- Abertos
- Semi-Herméticos
- Herméticos
- **Parafuso**

- E as duas grandezas mais importantes para caracterização do seu desempenho são a capacidade de refrigeração e a potência

Será apenas abordado o último para apresentação deste trabalho; O de **Parafuso (Rotativo)**.

# APRESENTAÇÃO

## Compressor Parafuso

Existe três tipos de compressores de parafuso;

- Os de **compound**
- Os de parafuso **simples**
- Os de parafuso **duplo** (gémeos).

Sendo o primeiro um compressor de maior complexidade, mas é de grande eficiência energética. Usando para isso dois pares de rotores e a compressão ser repartida por dois estágios, aborda-se apenas o ultimo, **o de parafuso duplo**.

NOTA: Os compressores de parafuso também podem ser Abertos, Herméticos ou Semi-Herméticos

## Construção

Um compressor parafuso típico, é uma máquina de **deslocamento positivo** com dispositivo de **redução de volume**, que possui **dois rotores acoplados, montados em mancais** (pontos de apoio das extremidades dos parafusos) para serem **fixados nas suas posições na câmara de trabalho com uma tolerância pequena em relação à cavidade cilíndrica**.

O **rotor macho** tem um **perfil convexo (curvatura para fora)**, ao contrário do **rotor fêmea**, que possui um **perfil côncavo (curvatura para dentro - garganta, reentrâncias)**.

A forma básica dos rotores é semelhante a um **parafuso sem-fim**, com diferentes números de lóbulos em cada rotor. Normalmente, **nos rotores macho existem 4 lóbulos e nos rotores fêmea existem 6 reentrâncias (4+6)**. Havendo compressores de tecnologia mais recente, que possuem uma configuração **5 lóbulos e 7 reentrâncias (5+7)**.

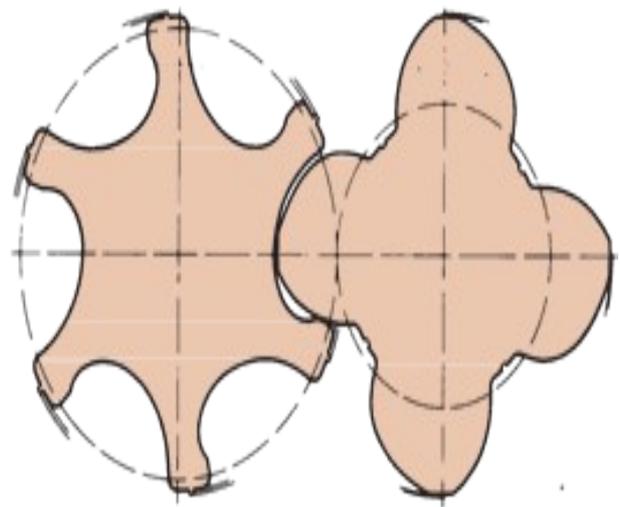
O acoplamento dos rotores nunca é simultâneo, mas qualquer um dos dois pode ser impulsionado (individualmente) pelo motor.

**NOTA:** - A maior parte dos compressores são construídos para que o **rotor macho (acionamento no parafuso macho)** transmite movimento ao **rotor fêmea**. Mas alguns são construídos de forma que o motor seja ligado ao **rotor fêmea (acionamento no parafuso fêmea)** o que resulta num aumento de 50% de velocidade do **rotor** para a mesma velocidade do **motor**.

Todos os compressores de parafuso utilizados na refrigeração usam injeção de óleo na câmara de compressão para lubrificação, vedação e arrefecimento.

A vedação entre os diferentes níveis de pressão abrange uma estreita faixa entre as engrenagens dos rotores e a periferia dos mesmos na câmara de compressão. O óleo injectado na câmara de compressão numa quantidade suficiente minimiza a fuga e arrefece o fluido.

Já que a maioria do calor da compressão é transferido para o óleo durante a compressão, esta energia será removida por um sistema de refrigeração do óleo e também separado posteriormente por um separador de óleo (este conjunto de componentes, chamado de unidades de compressão, estão incorporado nos compressores de grande potência).



Compressor parafuso 4+6



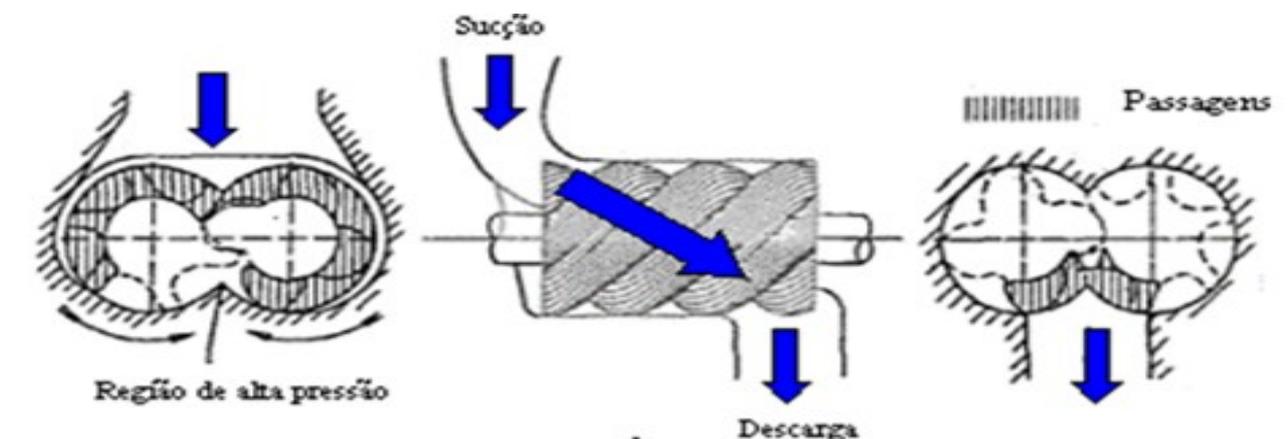
Compressor parafuso 3+4

## Princípio Geral de Funcionamento

O compressor parafuso pode ser descrito como **uma máquina de deslocamento positivo com dispositivo de redução de volume**. O fluido é **comprimado meramente pela rotação dos rotores acoplados**, que percorre o espaço entre os lóbulos enquanto é transferido axialmente da **sucção** para a **descarga**, passando pela **compressão**.

São estas as **três fases distintas de operação** deste compressor.

Sendo assim, o refrigerante entra pelo topo à medida que o rotor macho impõe o movimento e o óleo é injectado entre os rotores, o espaço na engrenagem entre o macho e a fêmea diminuí de volume, comprimindo desta forma o fluido, até que este é descarregado pelo fundo do compressor.

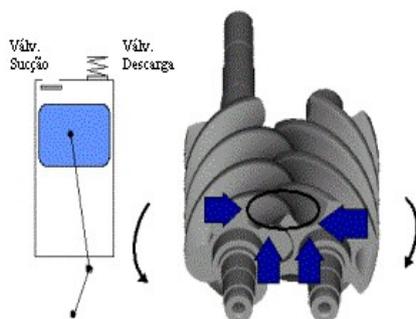


As três fases de operação: Sucção, Compressão e Descarga

## Sucção (Admissão)

Quando os rotores giram, os espaços entre os **lóbulos abrem-se e aumentam de volume** (o espaço inter-lobular). O fluido então é **"sugado"** através da entrada e preenche o espaço entre os lóbulos. Quando os espaços entre os lóbulos alcançam o volume máximo, a entrada é fechada.

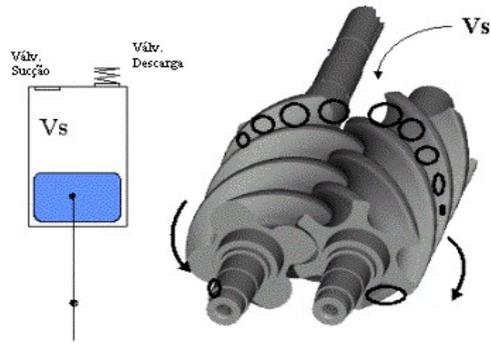
### Processo de Sucção



Processo é análogo à descida do pistão num compressor alternativo.

O refrigerante admitido na sucção **fica armazenado nas duas cavidades helicoidais formadas pelos lóbulos e na câmara onde os rotores giram**. O volume armazenado em ambos os lados e ao longo de todo o comprimento dos rotores é definido como **volume de sucção ( $V_s$ )**.

### Volume máximo na sucção.



Processo é análogo quando o pistão alcança o fundo do cilindro e a válvula de sucção fecha, num compressor alternativo.

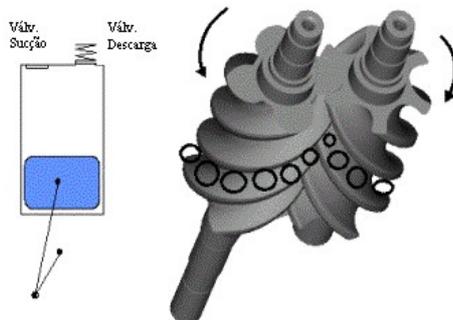
O **deslocamento volumétrico** do compressor alternativo é definido em termos do **volume da sucção**, pela **multiplicação da área da cavidade pelo percurso do cilindro e pelo número deles**.  
No caso do compressor parafuso, este deslocamento é dado pelo volume da sucção por fio e multiplicado pelo número de lóbulos do rotor accionado.

### Compressão

Os lóbulos do **rotor macho** começarão a **encaixar-se** nas ranhuras do **rotor fêmea** no fim da sucção, localizada na traseira do compressor.

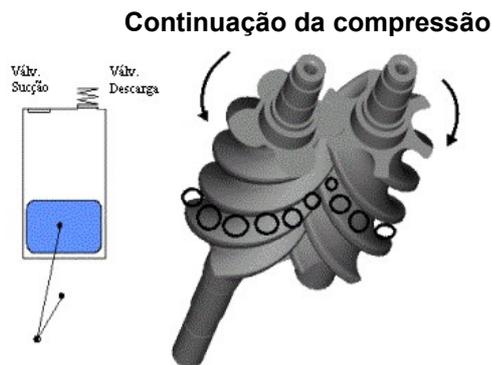
“**Os fluidos**” provenientes **de cada rotor** são “**unidos**” numa cunha em forma de “V”, com a ponta desse “V” situado na intersecção dos fios, no fim da sucção.

### Início da compressão.



Processo análogo num compressor alternativo.  
Quando o pistão inicia a subida no cilindro com a válvula de sucção fechada e a de válvula de descarga ainda fechada.

Posteriormente, em função da rotação do compressor, inicia-se a **redução do volume na intersecção dos fios** (na cunha “V”), **ocorrendo a compressão**.

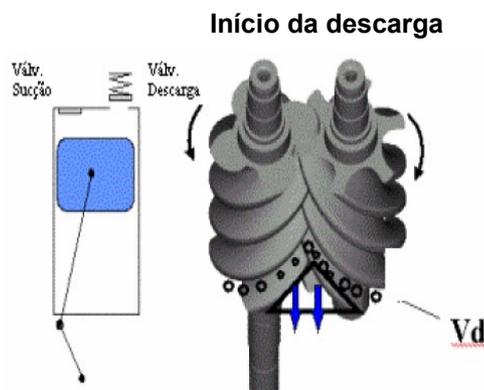


O ponto de intersecção do lóbulo do rotor macho e da ranhura do rotor fêmea é análogo à compressão do gás pelo pistão num compressor alternativo.

## Descarga

No compressor parafuso **não existe válvulas** (como acontece no alternativo) para determinar o **fim da compressão**. A localização da câmara de descarga é que determina o fim da compressão.

O **volume do fluido** acumulado nos espaços entre os lóbulos na “**porta**” de **descarga** é definido como **volume de descarga (Vd)**.

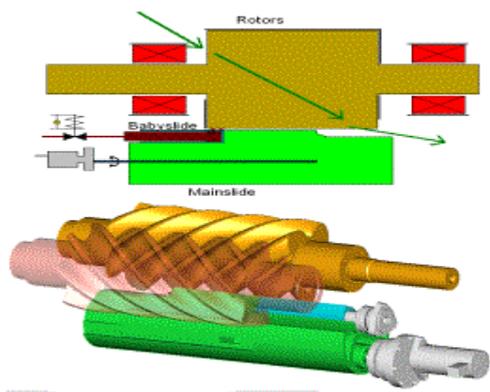


Num compressor alternativo, este processo inicia-se com a abertura da válvula de descarga. Como a pressão no cilindro é superior a pressão da (mola) válvula, esta abre-se, permitindo que o fluido comprimido seja empurrado para a descarga.

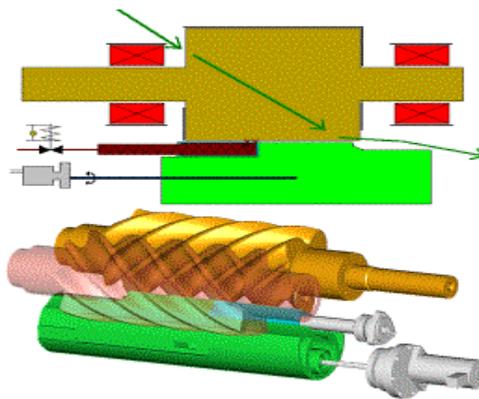
As duas aberturas utilizadas, (uma) na **descarga radial na saída final da válvula de deslizamento** e (outra) na **descarga axial na parede de final de descarga**, conferem a importância da descarga (**que controla a compressão**), uma vez que determina a **razão entre os volumes internos**.

O processo de **descarga termina** quando **espaço antes ocupado pelo fluido** é agora **ocupado inteiramente pelo lóbulo do rotor macho**.

## Válvula de deslizamento



Válvula de deslizamento controlando a capacidade e a localização da câmara de descarga.  
Carga total com  $V_i$  mínimo



Válvula de deslizamento controlando a posição da descarga e a razão entre volumes.  
Carga total com  $V_i$  máximo.

O momento da abertura da “porta de descarga” - fase de extensão da válvula”, é atingido quando a pressão na cavidade durante a compressão sobe até ao ponto em que é igual a pressão da linha de descarga.

Com este tipo de válvulas **não ocorrem golpes e oscilações de pressão**, uma vez que **não há válvulas** oscilantes (aspiração e de escape) fornecendo assim um **fluxo extremamente contínuo**

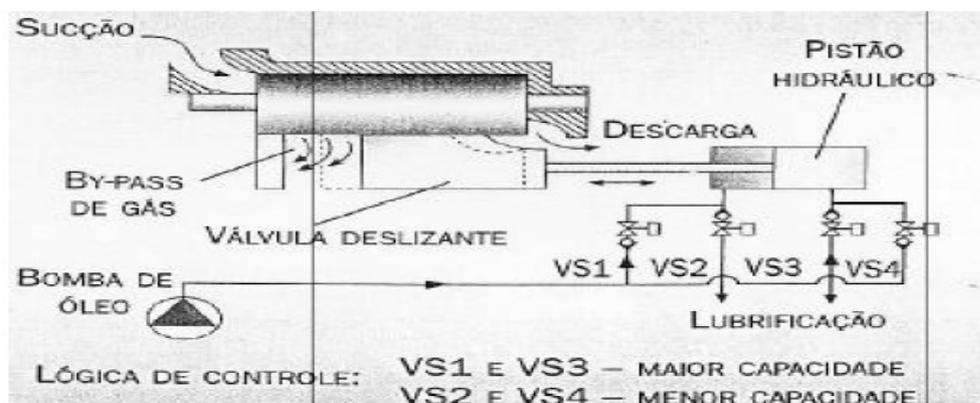
Ao contrário dos **alternativos**, em que as válvulas “**transmitem**” o fluido aos “**espirros**” cada vez é forçada a sua abertura.

O sistema das válvulas de deslizamento é **acionado** através da **pressão de óleo** que é bombeado para um “**cilindro hidráulico**” que **acciona a válvula deslizante**.

Ao deslocar a válvula **no sentido da abertura** ela permitirá que todo o **refrigerante aspirado** seja **comprimido**.

Ao deslocar a válvula **no sentido do fecho** diminui-se a **área de descarga** e permite que **parte do refrigerante aspirado** retorne para a **fase da sucção** sem ter sido comprimido.

**Diminuindo o refrigerante comprimido**, diminui-se a **capacidade de refrigeração**, atendendo o sistema que **necessita de uma carga parcial** e com um **menor consumo de energia**.



Sistema de controlo de capacidade

## Razão entre Volumes

A **razão entre volumes (Vi)** é uma característica fundamental nos compressores de parafuso.

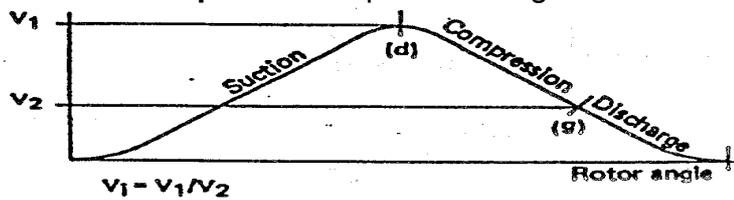
O compressor é um dispositivo que reduz o volume, daí, a comparação entre o **volume de sucção (Vs)** e o **volume compressão (Vd)** define-se pela **razão de redução de volumes (Vi)**, o que determina a **razão de pressão do compressor** através das relações abaixo:

$$Vi = Vs/Vd$$

Onde: **Vi** = razão entre volumes  
**Vs** = volume na sucção  
**Vd** = volume na descarga

$$Pi = Vi \times cp$$

Onde: **Pi** = razão entre pressões  
**cp** = calor específico do gás



Volume dos espaços entre lóbulos

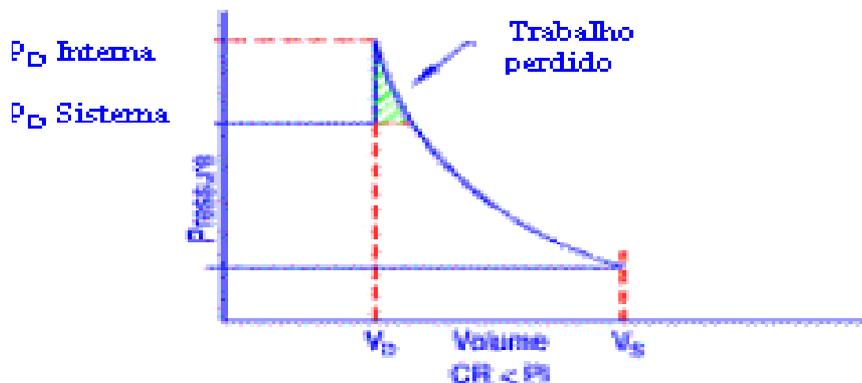
## Sobre-Compressão e Sub-Compressão

Se a **razão entre volumes (Vi)** for **muito elevada** para uma dada condição de operação, a **descarga tornar-se-á muito longa** e a **pressão ficará acima da pressão de descarga**.

Denominando-se de **Sobre-Compressão**.

Neste caso, o gás é comprimido **acima da pressão de descarga** e quando ocorre a **abertura da descarga**, a **alta pressão** do gás faz com que ocorra a **expansão do refrigerante para a tubulação de descarga, fora do compressor**.

Isto acarreta um **trabalho maior** do que se a compressão tivesse sido **interrompida** quando a **pressão interna** fosse igual a **pressão de descarga**.



Sobre-Compressão - Diagrama P x V.

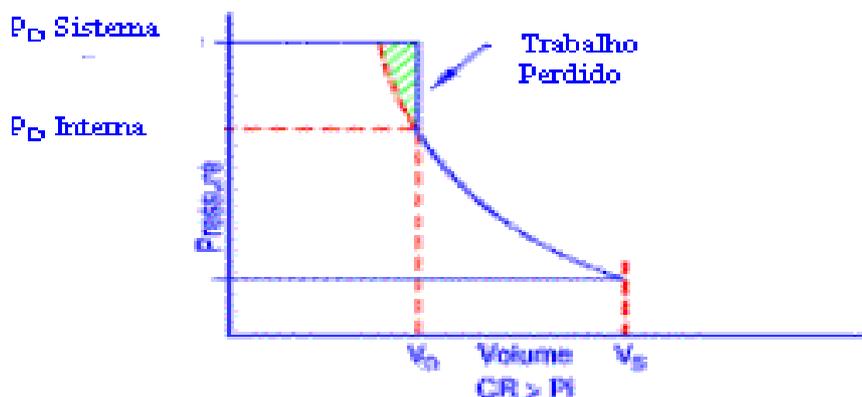
Se a **razão entre volumes ( $V_i$ )** é **muito baixa** para uma dada condições de operação, a **descarga** tornar-se-á **muito breve** e a **pressão** ficará **abaixo da pressão de descarga**.

Denominando-se de **Sub-Compressão**.

Neste caso a **abertura da descarga** acontece **antes** que a **pressão do gás** alcance a **pressão de descarga**.

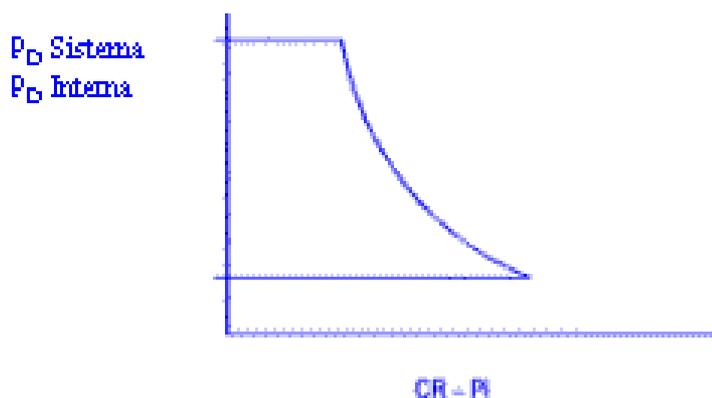
Isto faz com que o gás que estava do **lado de fora do compressor** invada a **câmara de compressão**, **elevando a pressão** imediatamente para o **nível de pressão da descarga**.

O compressor tem que **trabalhar** com um **nível de pressão mais alto**, em vez de **trabalhar** com uma **gradual elevação do nível de pressão**.



Sub-Compressão - Diagrama P x V.

Nos dois casos anteriormente mencionados, o compressor **funcionará na mesma**, e o mesmo **volume de gás** será **igualmente deslocado**, porém com uma **maior potência requerida** do que aquela que seria **utilizada** se as **aberturas de descarga** estivessem **correctamente equilibradas**, de modo a **equiparar a razão entre volumes** com a **necessidade do sistema**.



Compressão ideal - Diagrama P x V.

## Separador de Óleo

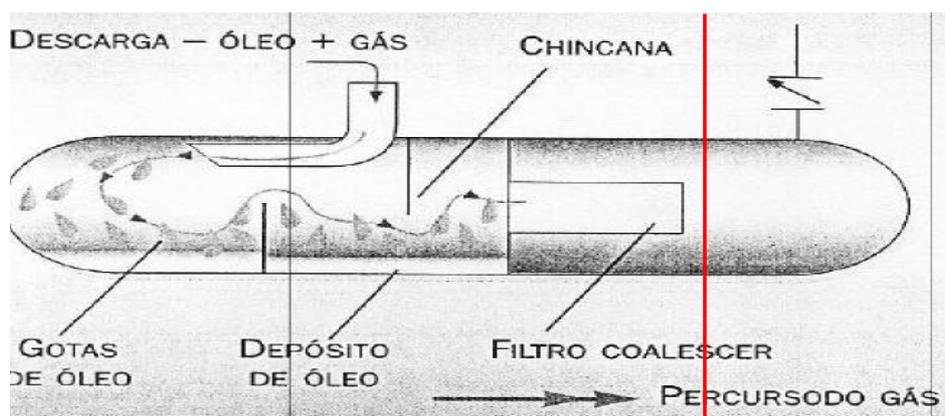
Como a maioria dos compressores de refrigeração possuem lubrificação por injeção de óleo. O de parafuso não é exceção a essa maioria.

Da mesma forma que a maioria dos compressores parafuso são fabricados como se de uma unidade de compressão tratasse, principalmente os de grande potencia, onde está incluída a bomba, arrefecedor, filtro e o **separador de óleo**.

Portanto, é necessário fazer-se a separação do óleo e do fluido refrigerante, que são descarregados no compressor.

A separação dá-se em 2 estágios;

- O primeiro é mecânico
- O segundo através de um filtro (tipo coalescer – Que faz a junção de partes que se encontram separadas).



1º Estágio

2º Estágio

Separação do óleo

## Filtro de Óleo

Separa eventuais impurezas do óleo que irá **lubrificar as partes móveis** do compressor, como rolamentos, mancais, selo e fusos, entre outras.

## Bomba de Óleo

Trata-se de uma bomba do **tipo de engrenagens** que bombeia o óleo a ser injectado nas **cavidades helicoidais** do compressor.

A pressão de óleo do compressor deve ser **de 3 a 1 bar mais alta** que a **pressão de descarga**.

## Arrefecedor de Óleo

É um **reservatório de óleo** que se encontra na **parte da descarga** do compressor, de forma que é necessário **retirar o excesso do calor** que o óleo adquiriu ao **ser comprimido junto do gás**.

Existem **três tipos** de sistema para se arrefecer o óleo,

- **O de óleo a água:** Trata-se de um trocador de calor (Casco-Tubo ou placas) no qual o óleo é arrefecido por água (eventualmente da torre).

- **Termossifão:** Utiliza o **próprio fluido** refrigerante para **arrefecer o óleo**, através de um “permutador” de calor (seria um “evaporador” com óleo);
- **Injecção de líquido:** Trata-se de um sistema que injecta o fluido refrigerante líquido na própria câmara de descarga do compressor.  
**O líquido evapora resfriando o gás descarregado e o óleo, que ainda não foi separado.**

### Algumas Características

- Os gases são comprimidos por **elementos giratórios**.
- Têm **menores perdas mecânicas por atrito**, por ter poucas peças móveis.
- A velocidade de **rotação é alta** e controlada através da variação da velocidade do motor acoplado.
- O arrefecimento do fluido pode ser feito durante a compressão por meio de óleo (ou não).
- Ausência de **válvulas de admissão e de descarga** diminuem as perdas, **melhorando o rendimento volumétrico** independentemente da **relação de pressão** do compressor.
- **A compressão** é feita de um **modo contínuo e não intermitente** (alternativo). Devido a utilização da **válvula de deslizamento** que fica embutida no compressor, onde se move axialmente.
- A operação nos intervalos de velocidades - 1800 até 5000 rpm - permite facilmente usar o **controlo por variação de velocidade** para regular a **capacidade de refrigeração**.
- Confere uma capacidade de operação com razões de **compressão elevadas**. Devido ao facto no final da descarga, todo o fluido se ter expandido, isto é, **não há remanescência de fluido na câmara** como acontece nos compressores alternativos.

A escolha do compressor deve estar aliada a diversos factores, tais como:

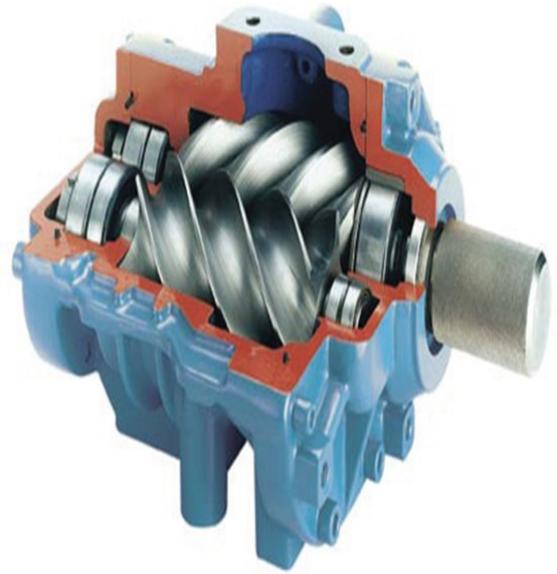
- Consumo energético
- Robustez
- Fluido refrigerante
- Custo
- Custo de eventuais acessórios
- Rendimentos
- Ruído
- Custo de manutenção
- Regime de operação
- Etc.

Mas a selecção dos compressores parafuso são normalmente direccionadas para instalações de grande porte, compreendidas entre os 500KW e os 2000KW.

Com estas capacidades elevadas a selecção de um compressor alternativo seria de uma enorme volumetria (uma desvantagem), o que pode ser resolvido pela simples implementação do compressor de parafuso (duplo ou compound).

Instalações desta envergadura são normalmente realizadas, em climatização de grandes superfícies, zonas de conservação e/ou congelação de alimentos na indústria e/ou hipermercados, em chiller's, etc.

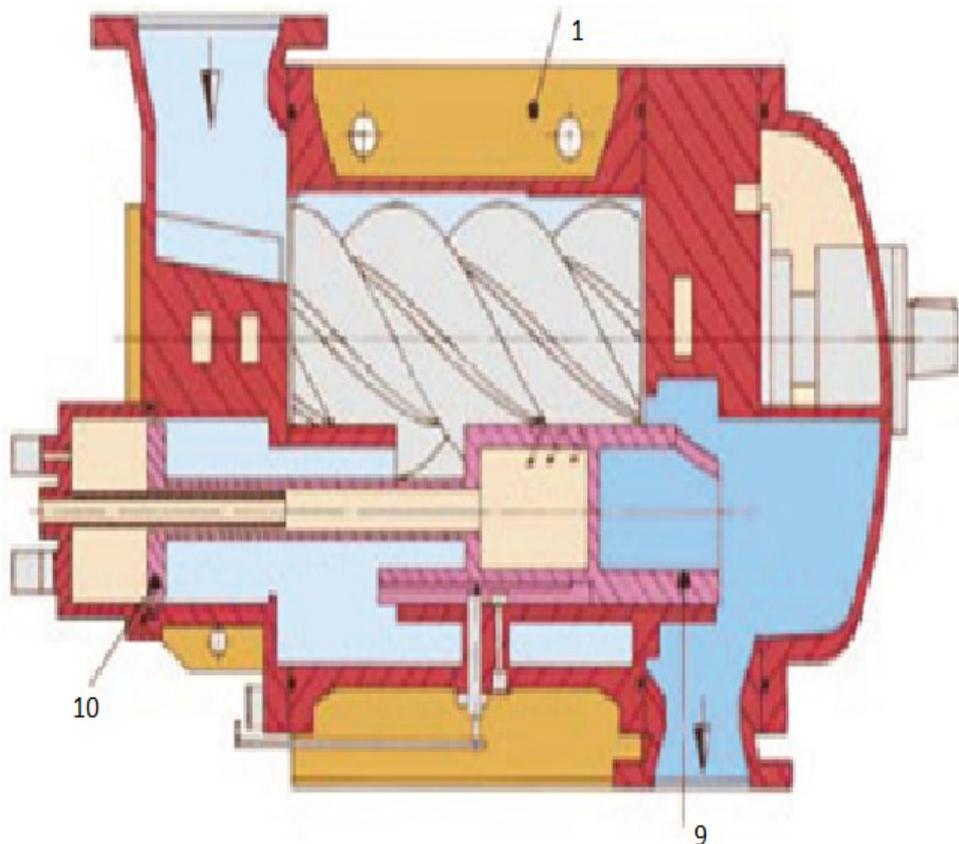
**Aspecto de um Compressor de Parafuso Pequena potência**



**Grande potência**



## PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM COMPRESSOR DE PARAFUSO DUPLO

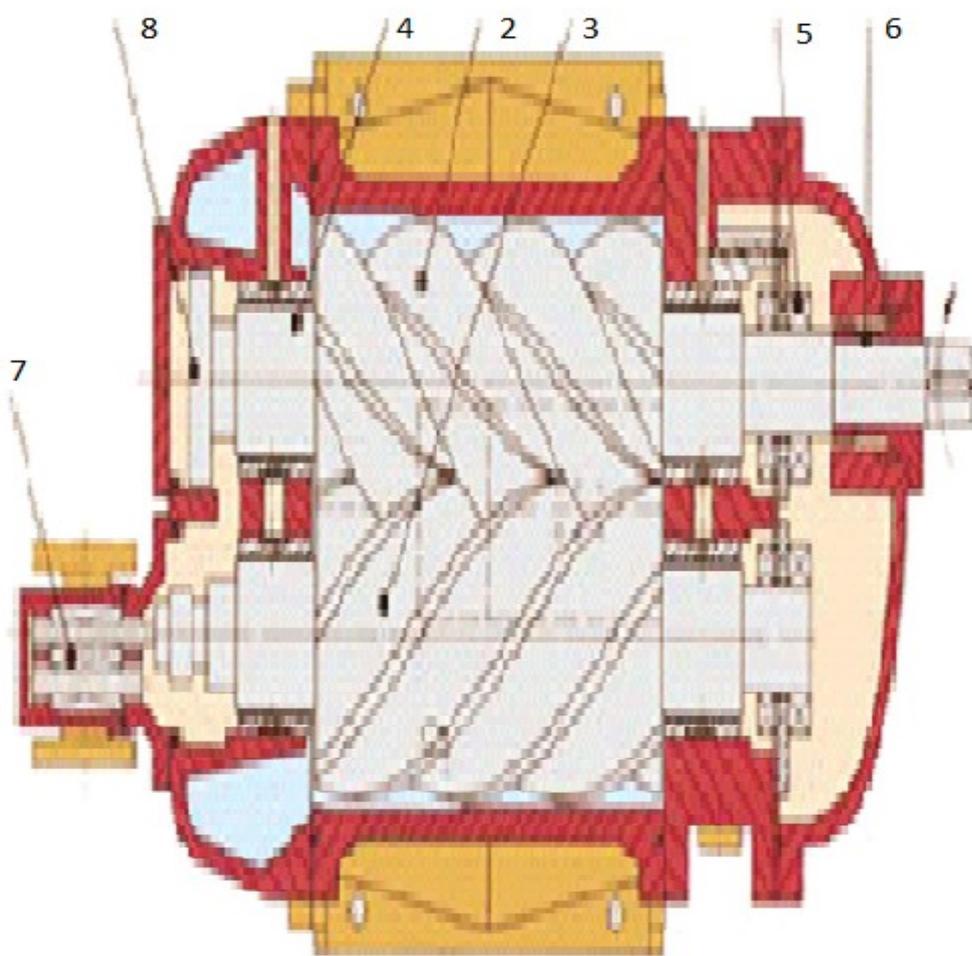


1 - Cilindro

9 - Válvula de deslizamento

10 - Rotor hidráulico

Secção longitudinal: VERTICAL



2 - Rotor macho

3 - Rotor fêmea

4 - Rolamento radial

5 - Rolamento de encosto axial

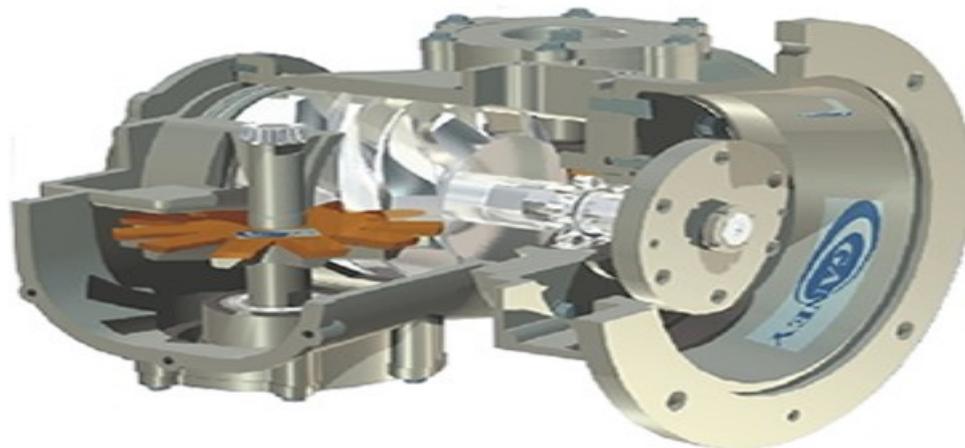
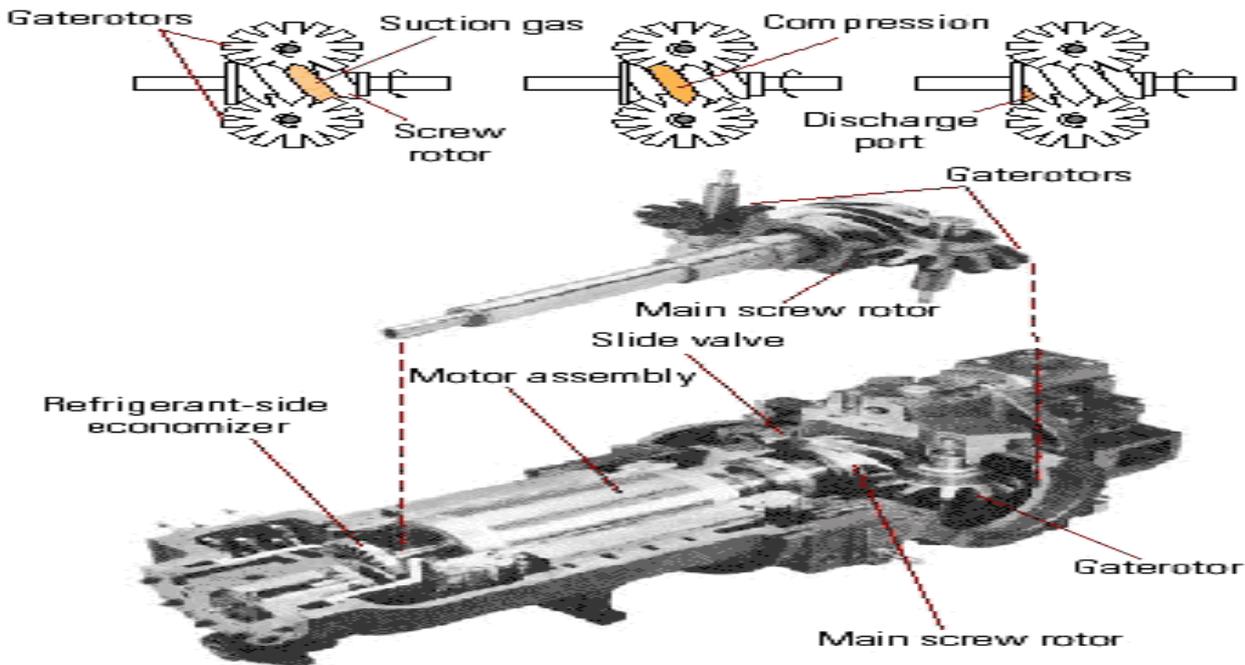
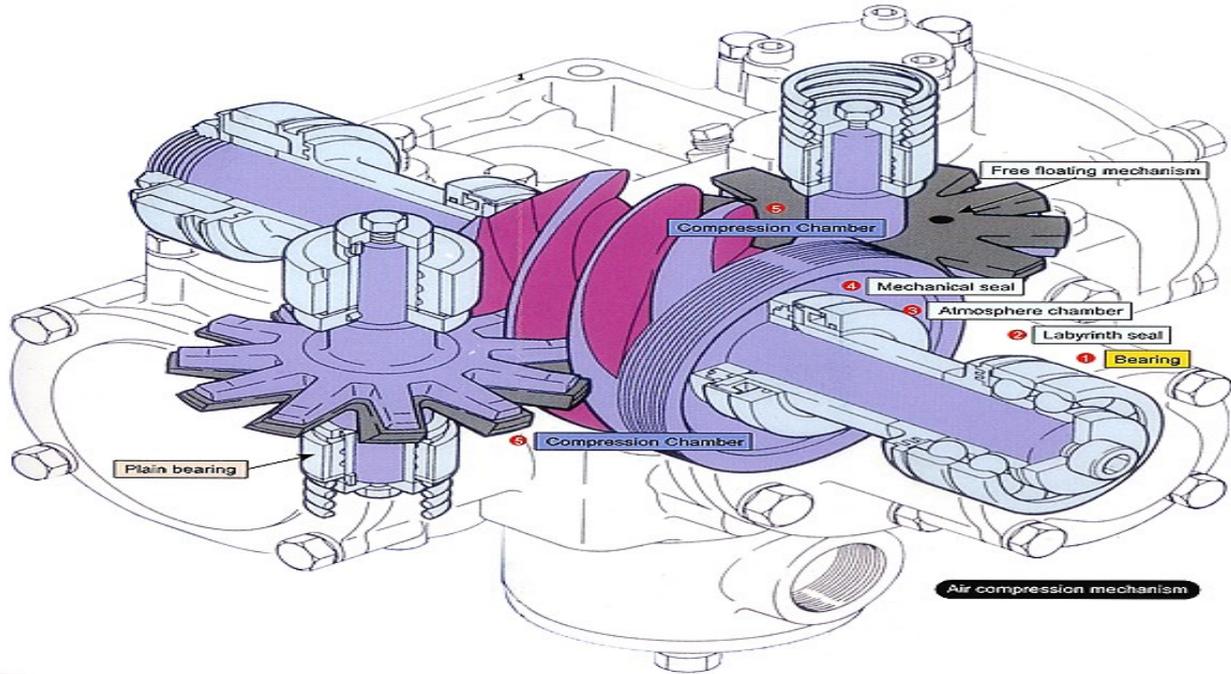
6 - Vedante mecânica

7 - Bomba de óleo

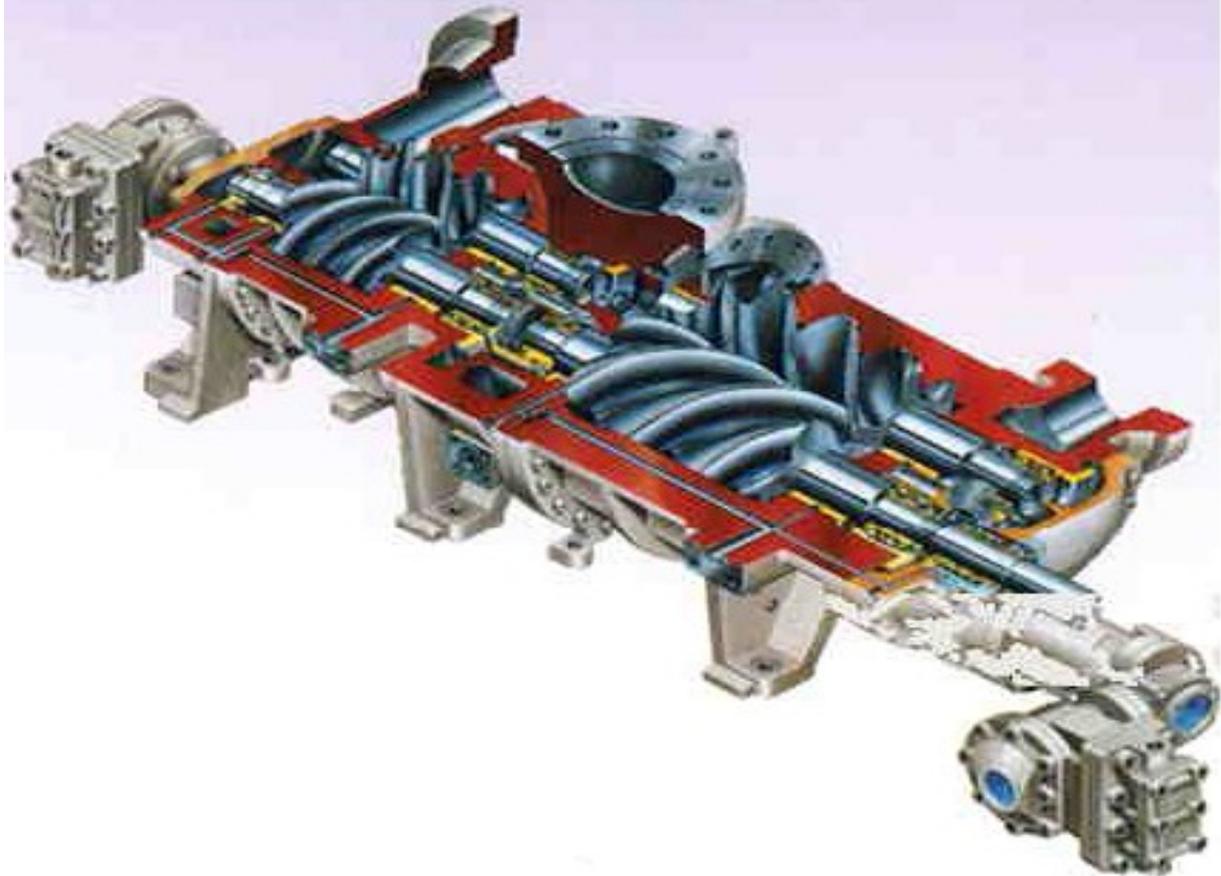
8 - Pistão de compensação

Secção longitudinal: HORIZONTAL

# COMPRESSORES DE PARAFUSO SIMPLES



## COMPRESSORES DE PARAFUSO COMPOUND (OU DUPLO ESTÁGIO)



### VARIOS EXEMPLOS DE COMPRESSORES PARAFUSO



Bitzer CSH



Bitzer Parafuso Aberto



Bitzer Parafuso Compacto



Bitzer Parafuso Hermético



Bitzer HSKB



Bitzer Parafuso Semi-Hermético



Bitzer SH



Carrier Parafuso Semi-Hermético



Carrier Parafuso Aberto



Hitachi Parafuso Semi-Hermético



Maycom Parafuso Série C



Maycom Parafuso Série V

Funcionamento Compressor Parafuso.htm

<http://www.recomprefrigeracao.com.br/funcionamentocompressorparafuso.htm>

## Bibliografia

- **A E R Z E N E R** - *Compressores Parafuso Aerzen*
- **YORK Refrigeration** - *Compressores Parafuso, parte I, II*
- **Bitzer** - Boletim de Engenharia - *Características sobre Compressores de Parafuso*
- **Danfoss** - *Controles Automáticos Para Sistemas de Refrigeração Industrial*
- **ATLAS COPCO** - *Compressores de Parafuso Rotativo Lubrificado*
- **KAESER COMPRESSORES** - *Compressores de Parafuso de alta Compressão*
- **LIDEL - Victor Monteiro** - *Novas Técnicas de Refrigeração Comercial em Hotelaria - Vol I e II*
- **EDITORIA EDGARD BLÜCHER - W.F. Stoecker e J.M. Saiz Jabardo** - *Refrigeração Industrial*
- **Pedro Maria Novaes Tito** - *Enciclopédia e Dicionário de Ar Condicionado e Refrigeração do IST*
- **Márcio Tadeu de Almeida** - *Analises de Falhas em Compressores de Parafuso*
- **Fábio Ferraz** - *Apostila de Refrigeração do CEFET-BA*
- **António João Diniz** - *Curso de Compressores da UNESP*
- **Oswaldo Bueno** - *Curso de Refrigeração e de Ar Condicionado*
- **EDITORIAL PRESENÇA - F.H. Meredith** - *Manual do Técnico de Refrigeração*
- **EDIÇÕES CETOP - Francisco Rey Sacristán** - *Gestão de Manutenção Mecânica e Eléctrica na Indústria e nas Oficinas*