
Tema 7: Tipología y Clasificación de Compresores



Juan F. Coronel Toro (jfc@us.es, <http://www.jfcoronel.org>)

Profesor Titular de Universidad

Dpto. Ingeniería Energética, Universidad de Sevilla

Tema 7: Tipología y Clasificación de Compresores

1. Clasificación en función de la forma de compresión

1.1. Compresores alternativos

1.2. Compresores rotativos de paletas y excéntrica

1.3. Compresores rotativos de espiral

1.4. Compresores rotativos de tornillo

1.5. Compresores centrífugos

2. Clasificación en función del montaje



7.1. Clasificación en función de la forma de compresión

- **Desplazamiento positivo o volumétricos**
 - Alternativos
 - **Ordinarios**
 - Especiales
 - Rotativos
 - De paletas
 - De excéntrica
 - De espiral (scroll)
 - **De tornillo (screw)**
- **Desplazamiento cinemático o dinámicos**
 - **Centrífugos**
 - Axiales

7.1. Clasificación de los compresores en función de la forma de compresión.

□ Compresores de desplazamiento positivo o volumétricos: Aumentan la presión del vapor de refrigerante reduciendo el volumen interno de una cámara, consumiendo para ello un trabajo mecánico.

□ Compresores de desplazamiento cinemático o dinámicos: Aumentan la presión convirtiendo presión dinámica en presión estática. Primero se acelera el fluido y posteriormente se frena.

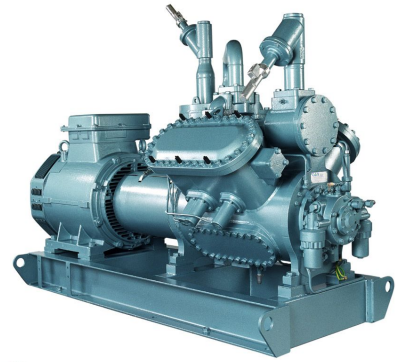
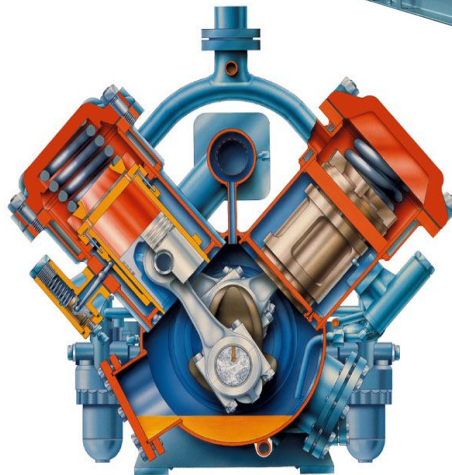
Los compresores más usados en refrigeración industrial son los alternativos y los de tornillo.

Para climatización se usan alternativos y de espiral para máquinas pequeñas y alternativos, de tornillo y centrífugos para máquinas de mayor tamaño.

7.1. Clasificación en función de la forma de compresión

7.1.1. Compresores alternativos

- ❑ Potencia de 5 a 800 kW
- ❑ Simple y doble efecto
- ❑ En línea, radiales, en V, W
- ❑ 1450 - 2900 rpm
- ❑ Caudales > 1500 m³/h: varios compresores
- ❑ Parcialización por etapas



7.1. Clasificación en función de la forma de compresión

7.1.2. Compresores rotativos de paleta y excéntrica

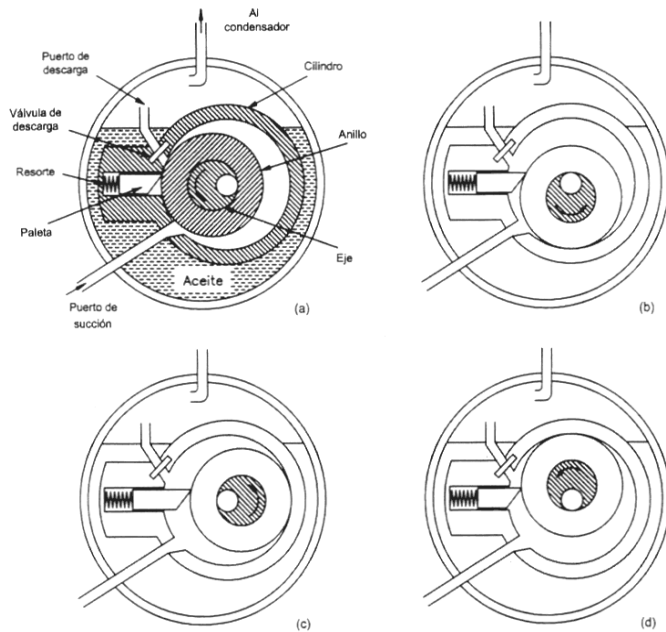


Figura 4.10 - Compresor rotativo de tipo de excéntrica

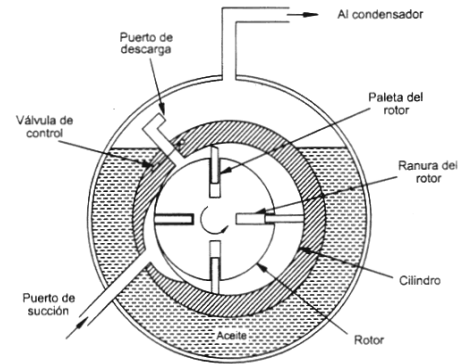


Figura 4.9 - Compresor rotativo del tipo de paletas

7.1.2. Compresores rotativos de paletas y de excéntrica

Potencias no muy elevadas.

7.1. Clasificación en función de la forma de compresión

7.1.3. Compresores rotativos de espiral (scroll)

- ✓ Potencia de 5 a 40 kW
- ✓ Bajo nivel sonoro
- ✓ 1450 rpm
- ✓ Parcialización múltiples compresores

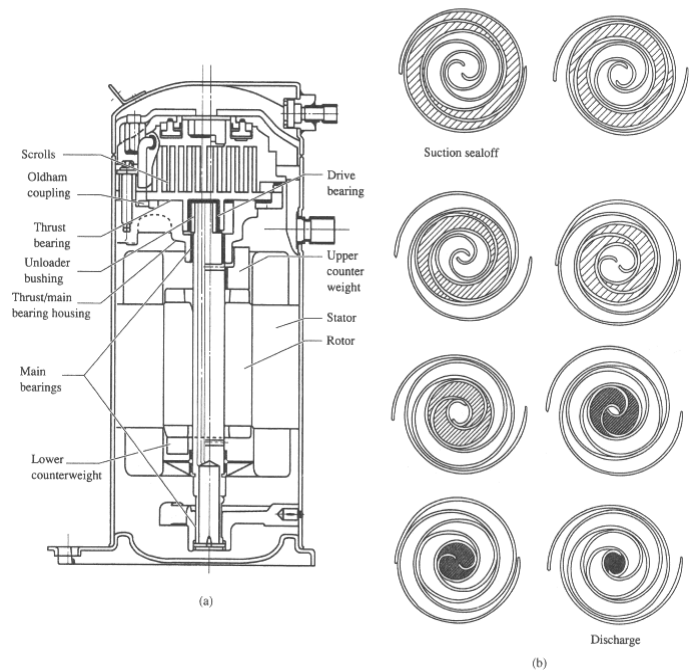


FIGURE 11.26 (a) Scroll compressor and (b) scroll compression processes. (Source: ASHRAE Handbook 1996, HVAC Systems and Equipment. Reprinted with permission.)

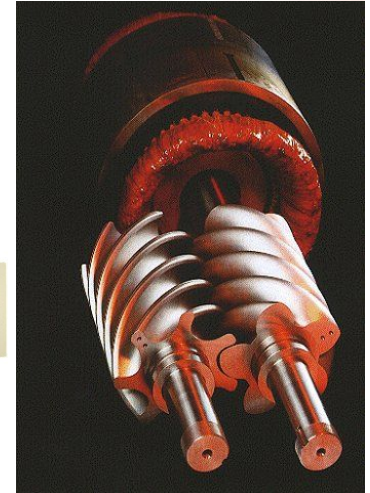
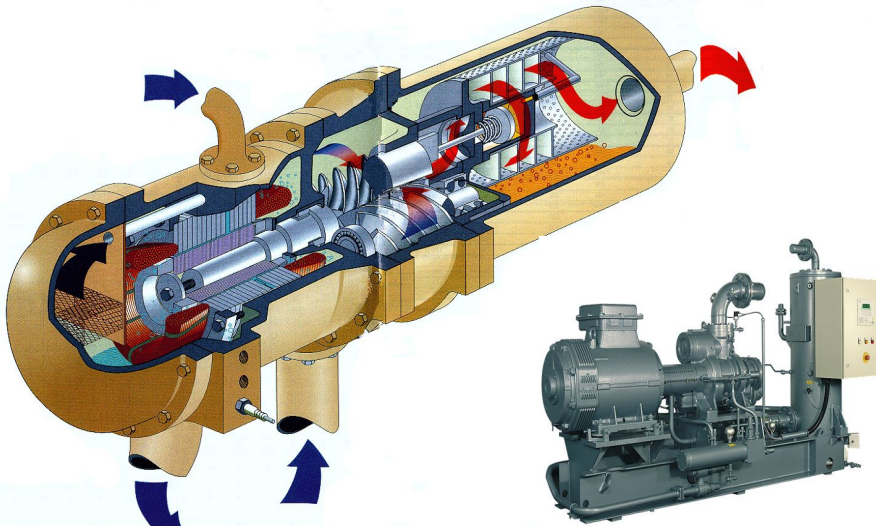
7.1.3. Compresores rotativos de espiral (scroll)

gama de potencia baja en equipos prefabricados

7.1. Clasificación en función de la forma de compresión

7.1.4. Compresores rotativos de tornillo (screw)

- ❑ Potencia de 100 a 1000 kW (Máx. 4000 kW)
- ❑ 1450 -10000 rpm
- ❑ Lubricación muy importante
- ❑ Parcialización continua hasta 10% o por etapas



7.1.4. Compresores de tornillo

- ❑ Compresores con dos tornillos: Tornillo motor y tornillo arrastrado.
- ❑ La cavidad comprendida entre ambos tornillos y la carcasa se reduce.
- ❑ Aceite entre ambos tornillos con doble función: Lubricación y cierre
- ❑ Potencias medias-alta. El número de compresores para la misma potencia es mucho menor que el número de compresores alternativos.
- ❑ Regulación de potencia utilizando una válvula de corredera que cambia el lugar de comienzo de la compresión.

7.1. Clasificación en función de la forma de compresión

7.1.5. Compresores centrífugos

- ❑ Potencia superiores a 1500 kW
- ❑ 10000-30000 rpm
- ❑ Parcialización continua
 - 1 etapa hasta 40%
 - 2 etapas hasta 15%
- ❑ Larga duración en funcionamiento continuo

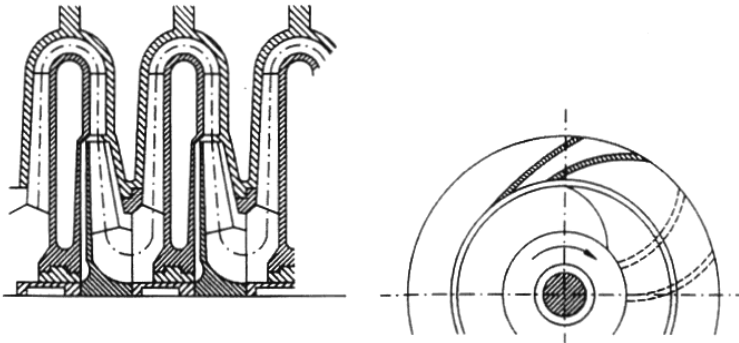


Figura 4.13 - Compresor centrífugo



7.1.5. Compresores centrífugos.

- ❑ El gas entra por el centro y es acelerado radialmente en el rodete. Convirtiendo la energía cinética en presión.
- ❑ Normalmente se utilizan múltiples rodetes.
- ❑ Se suele utilizar compresión en múltiples etapas con enfriamiento intermedio.
- ❑ Son necesarios refrigerantes de alta densidad R-11, R-113 o Similares. Se utiliza últimamente R-134a

7.2. Clasificación en función del montaje

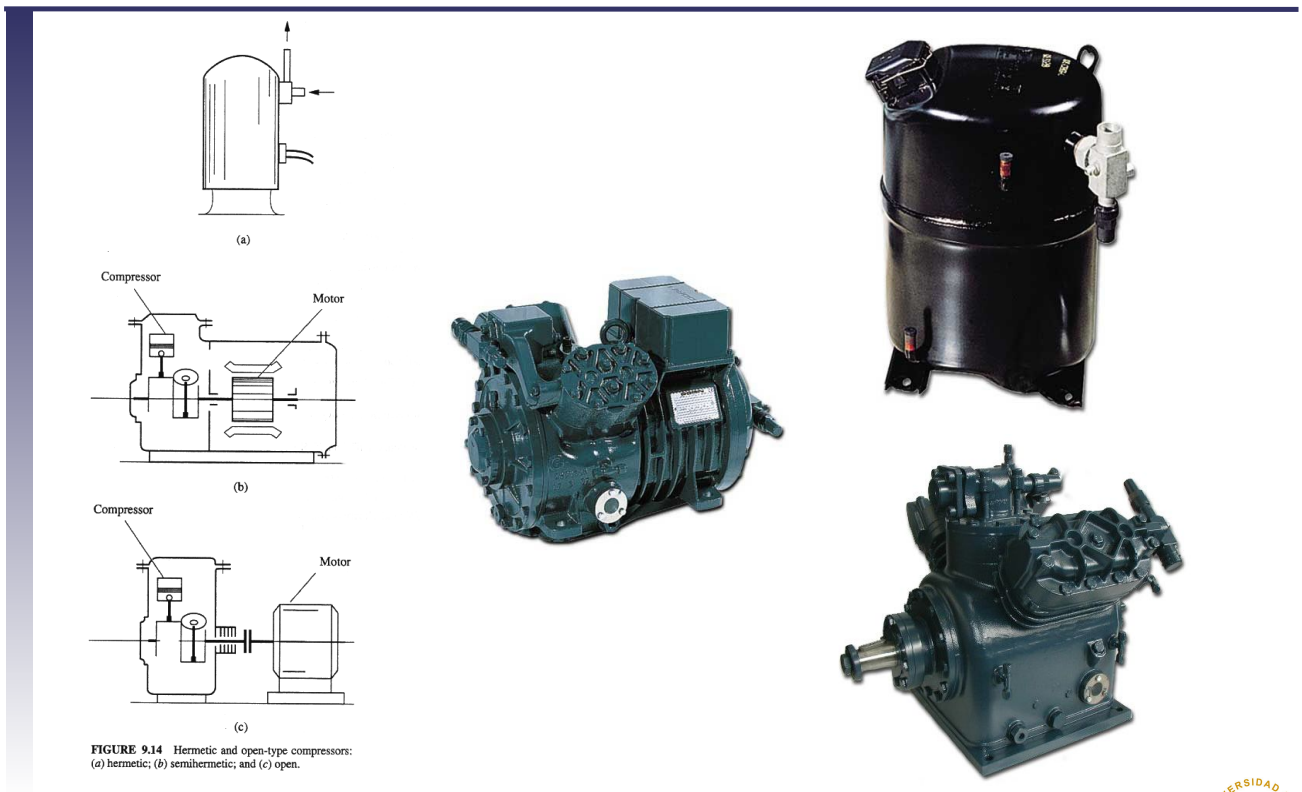


FIGURE 9.14 Hermetic and open-type compressors: (a) hermetic; (b) semihermetic; and (c) open.

7.2. Clasificación de los compresores en función del montaje.

- Herméticos: No desmontables, motor eléctrico y compresor en la misma carcasa.
 - Mínimas fugas de refrigerante.
 - Motor eléctrico refrigerado por el gas de admisión. Mejor funcionamiento del motor. Compatibilidad refrigerante-devanados.
- Semiherméticos (Hermético Accesible): Igual que el hermético pero desmontable para reparación.
- Abiertos: Motor y compresor montados por separado.
 - Motor separado del circuito frigorífico muy usado con el amoníaco. (Corrosión del amoníaco al cobre).
 - Dificultad de mantenimiento de las juntas: Fugas, desgaste, peor rendimiento mecánico.

Tema 8: Compresores Alternativos



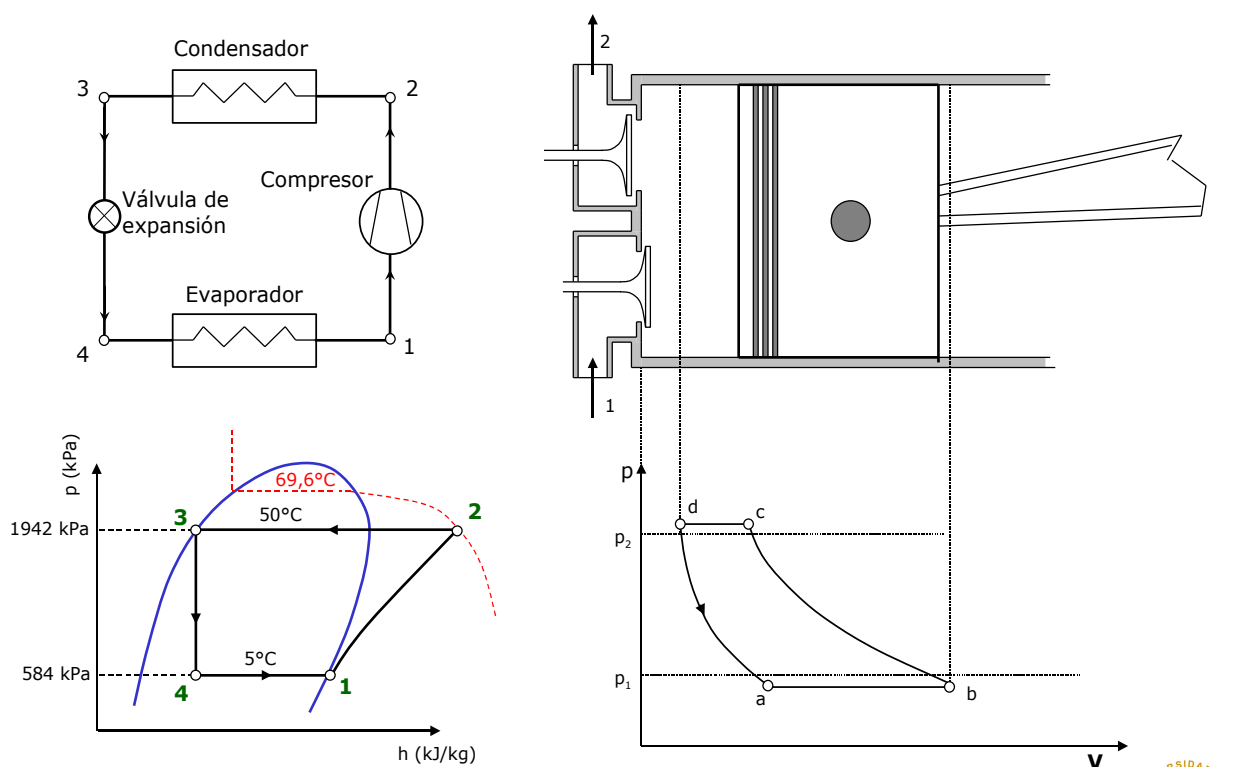
Juan F. Coronel Toro (jfc@us.es, <http://www.jfcoronel.org>)
Profesor Titular de Universidad
Dpto. Ingeniería Energética, Universidad de Sevilla

Tema 8: Compresores Alternativos

1. Comportamiento de compresores alternativos
2. Parámetros fundamentales
3. Influencia de la temperatura de evaporación / condensación
4. Rendimiento isentrópico
5. Regulación de capacidad
6. Uso de catálogos técnico



8.1. Comportamiento de compresores alternativos



8. Compresores Alternativos



8.1. Comportamiento de los compresores alternativos

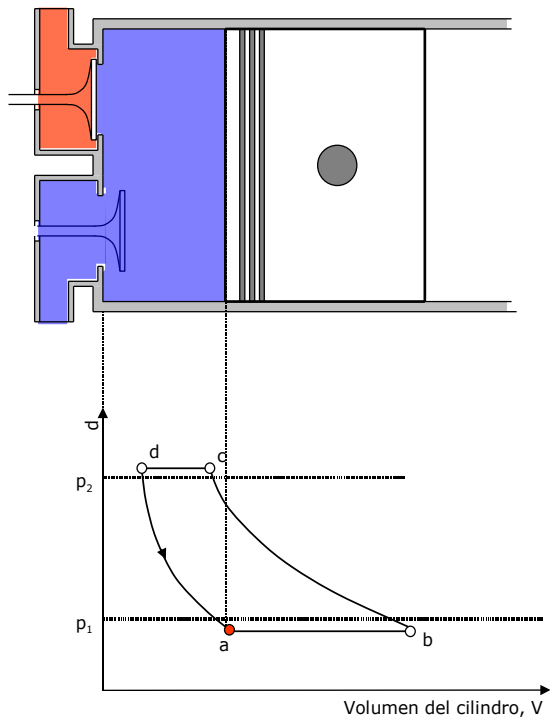
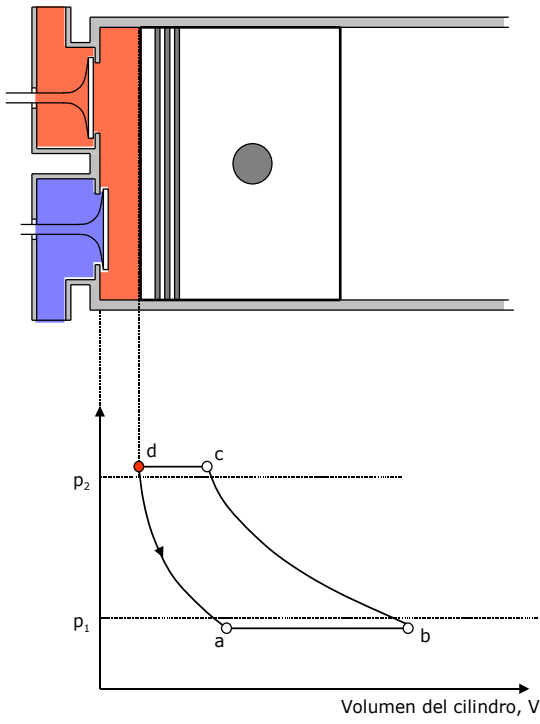
Carrera descendente:

- Proceso d-a: Reexpansión del gas en el interior del cilindro.
- Proceso a-b: Aspiración o admisión de refrigerante.

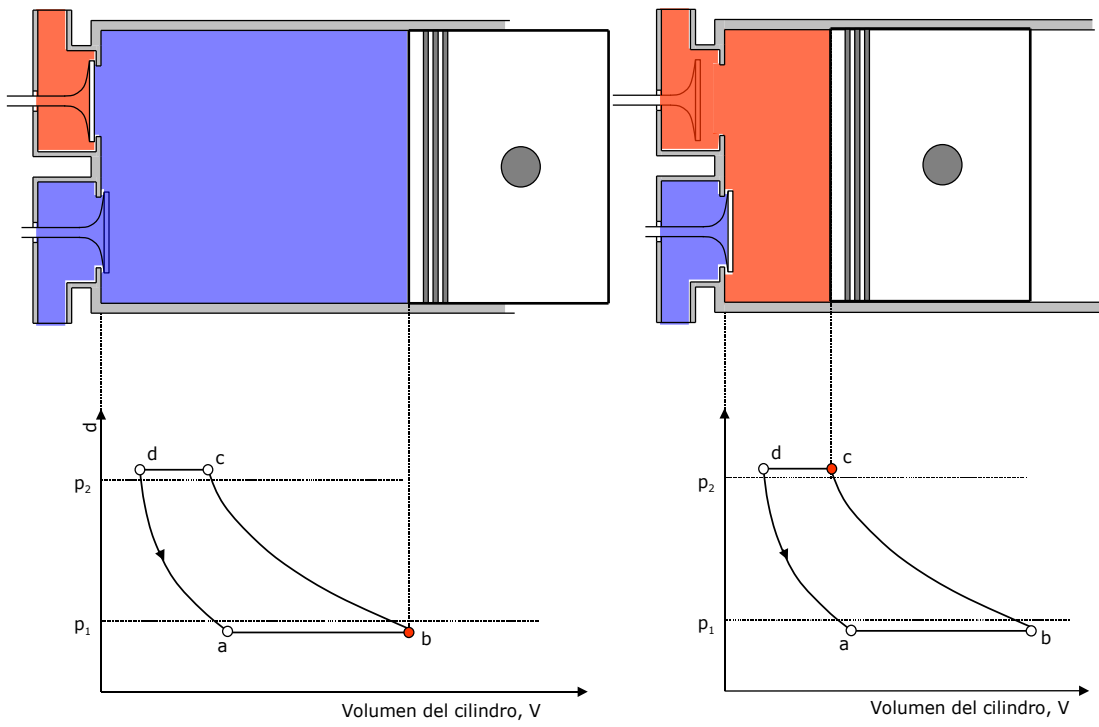
Carrera Ascendente:

- Proceso b-c: Compresión
- Proceso c-d: Descarga de refrigerante

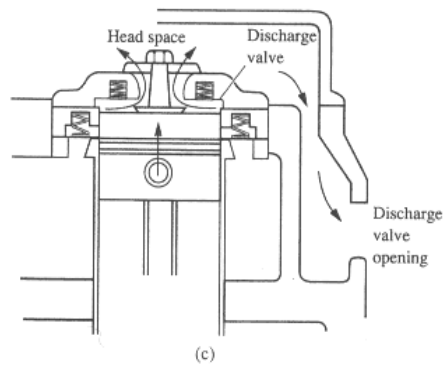
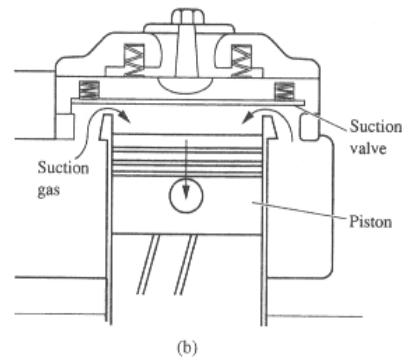
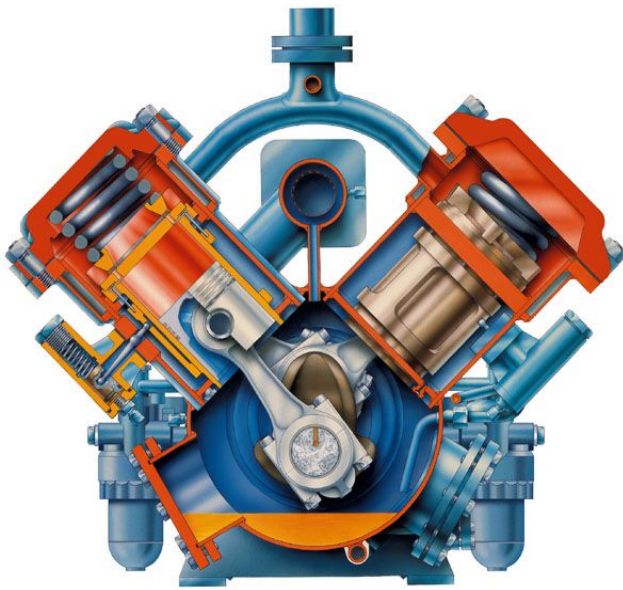
8.1. Comportamiento de compresores alternativos



8.1. Comportamiento de compresores alternativos



8.1. Comportamiento de compresores alternativos



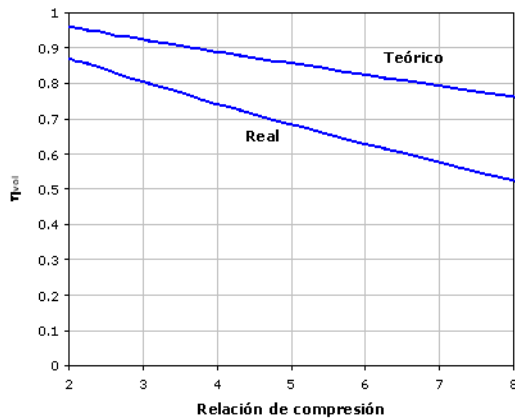
8.2. Parámetros fundamentales

Desplazamiento volumétrico

$$\dot{V}_t = N_c \frac{\pi D_c^2}{4} L_c \omega = N_c (V_b - V_d) \omega$$

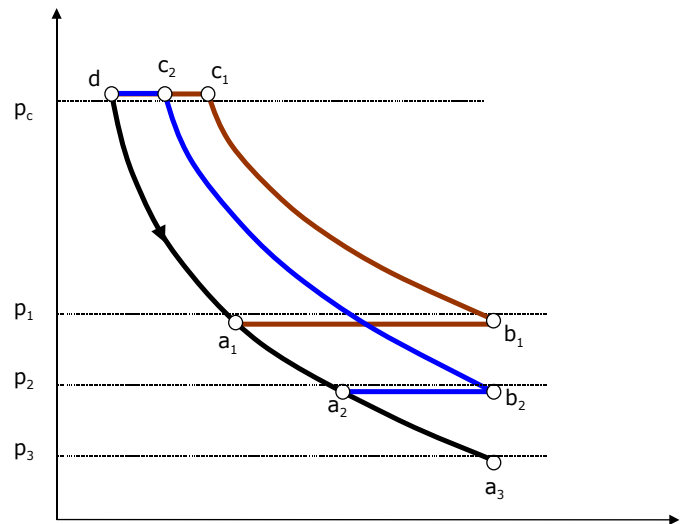
Caudal volumétrico de succión

$$\dot{V}_{R,1} \approx N_c (V_b - V_a) \omega$$



Rendimiento volumétrico

$$\eta_{vol} = \frac{\dot{V}_{R,1}}{\dot{V}_t} = \frac{\dot{m}_R v_1}{\dot{V}_t}$$



8. Compresores Alternativos



2. Parámetros fundamentales:

D_c : Diámetro interno del cilindro

L_c : Carrera – Longitud entre el punto muerto superior y el punto muerto inferior.

ω : Velocidad de giro

N_c : Número de cilindros.

Desplazamiento volumétrico $\dot{V}_t = N_c \frac{\pi D_c^2}{4} L_c \omega$

Rendimiento volumétrico (real): $\eta_{vol} = \frac{\dot{V}_{R,1}}{\dot{V}_t}$

$\dot{V}_{R,1}$: Caudal volumétrico de refrigerante a la entrada el compresor

Rendimiento volumétrico teórico:

$$\eta_{vol,t} = \frac{V_b - V_a}{V_b - V_d} = 1 - C \left(\frac{V_a}{V_d} - 1 \right) = 1 - C \left(\frac{v_1}{v_2} - 1 \right) = 1 - C (r_c^{1/\gamma} - 1) f(r_c)$$

$$p v^\gamma = cte; \quad \gamma = \frac{c_p}{c_v} \quad \frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/\gamma} = r_c^{1/\gamma}$$

V_d : Volumen muerto o perjudicial

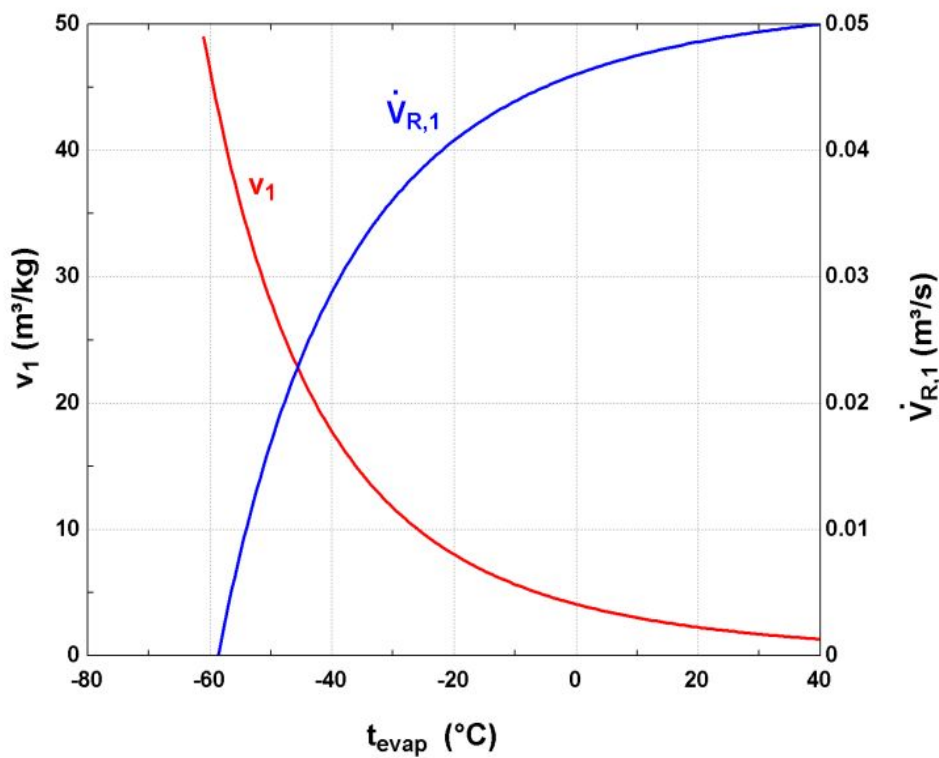
C : Factor de huelgo. $C = \frac{V_d}{V_b - V_d}$

Cuando se baja la presión de admisión el compresor no mueve refrigerante

El rendimiento volumétrico real sigue la tendencia del teórico. Pero añade:

- Pérdidas de carga en válvulas
- Fugas por la segmentación y retroceso en válvulas
- Calentamiento del cilindro.

8.3. Influencia de la temperatura de evaporación / condensación



8. Compresores Alternativos



3. Influencia de la temperatura de evaporación/condensación

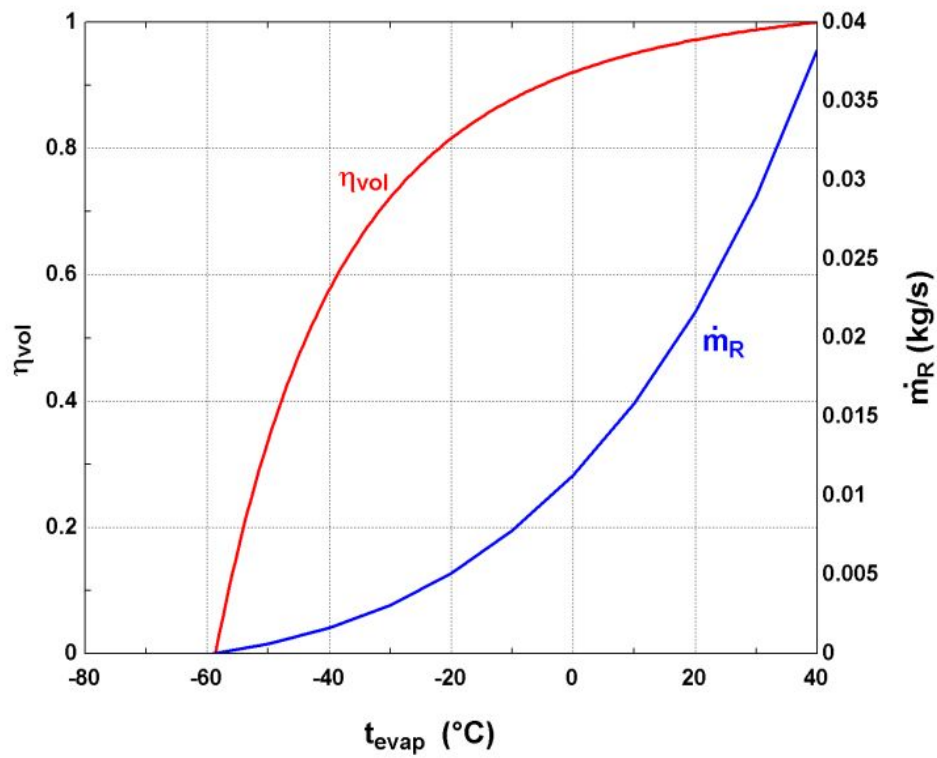
Estudio de la variación del ciclo estándar de compresión de vapor con la temperatura de evaporación (presión de evaporación)

Sea: Factor de huelgo $C=0,045$ (4,5%), R-22, temperatura de condensación 40°C . Desplazamiento volumétrico 50 l/s ($180 \text{ m}^3/\text{h}$)

$$\dot{m}_R = \frac{V_t \eta_{vol}}{v_1}$$

Menor temperatura de evaporación \rightarrow mayor volumen específico en 1 \rightarrow menor caudal másico de refrigerante.

8.3. Influencia de la temperatura de evaporación / condensación

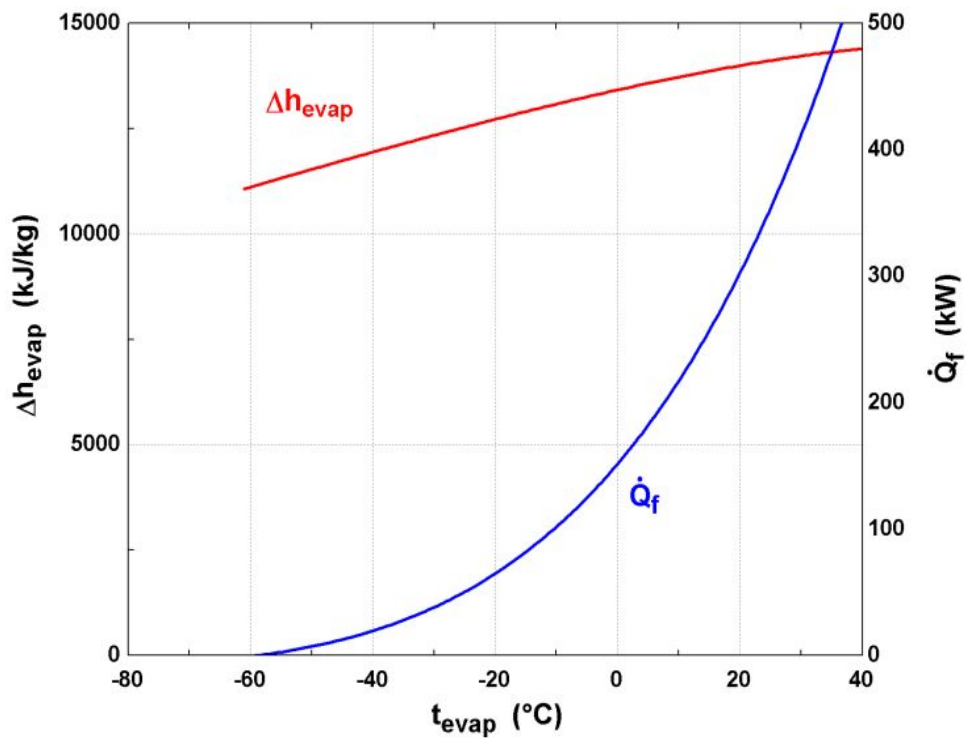


3. Influencia de la temperatura de evaporación/condensación

$$\dot{m}_R = \frac{\dot{V}_t \eta_{vol}}{v_1}$$

Menor Temperatura de evaporación -> mayor relación de compresión -> menor rendimiento volumétrico -> menor caudal de refrigerante

8.3. Influencia de la temperatura de evaporación / condensación

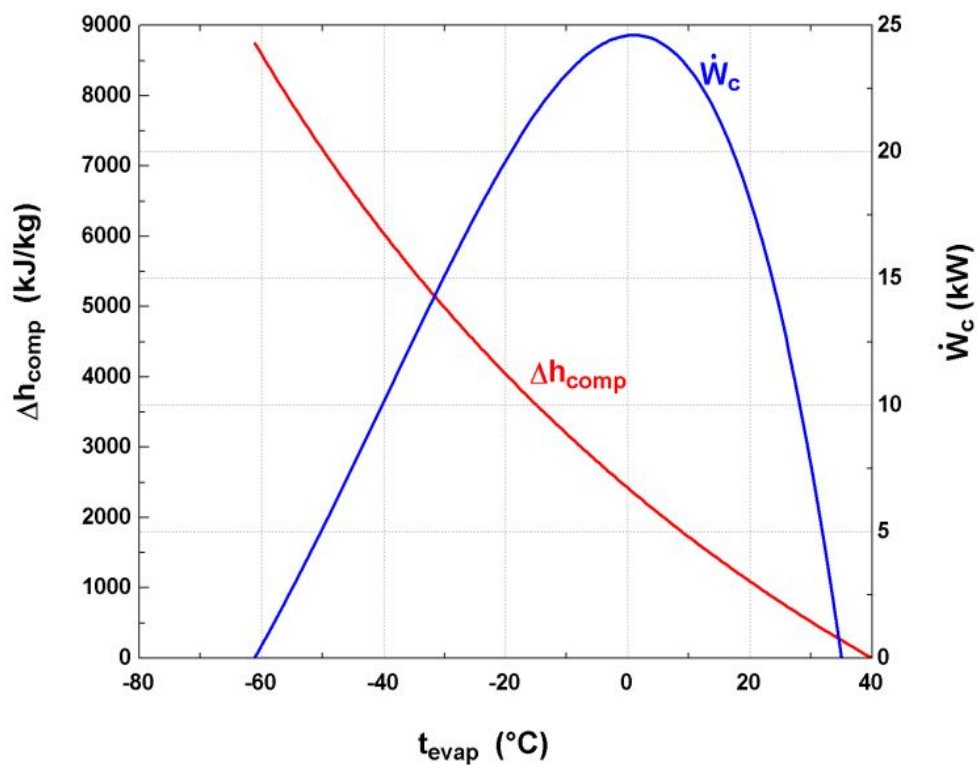


Menor T_{evap} -> Menor efecto frigorífico (salto de entalpía en el evaporador)

Luego la potencia frigorífica es el producto de dos magnitudes y las dos descienden al disminuir la temperatura de evaporación.

$$\dot{Q}_f = \dot{m}_R \Delta h_{\text{evap}}$$

8.3. Influencia de la temperatura de evaporación / condensación



8. Compresores Alternativos



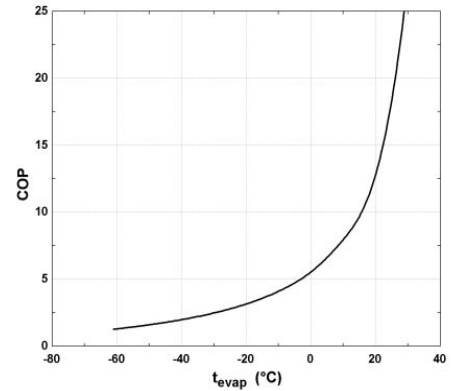
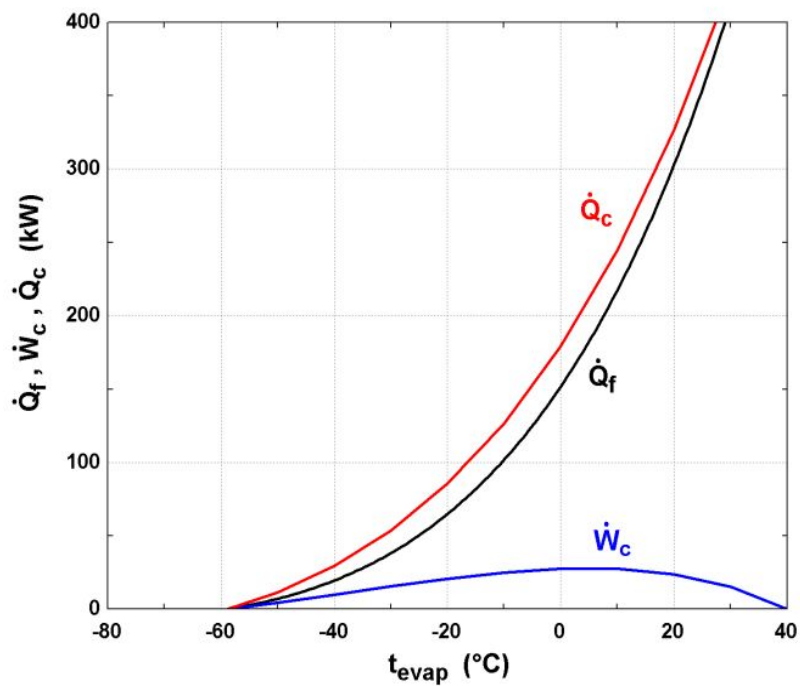
Menor Temperatura de evaporación -> Mayor salto de entalpía en el compresor.

La potencia de compresión es el producto de dos magnitudes, una descende y la otra aumenta al disminuir la temperatura de evaporación.

$$\dot{W}_c = \dot{m}_R \Delta h_{comp}$$

La potencia de compresión tiene un máximo. La posición normal de funcionamiento es a la izquierda del máximo, esto puede provocar problemas en el arranque ya que se pasa por el máximo y puede sobrecargar el motor eléctrico.

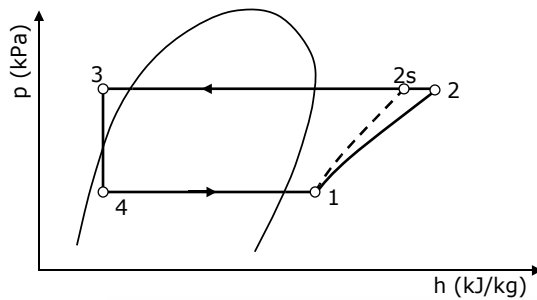
8.3. Influencia de la temperatura de evaporación / condensación



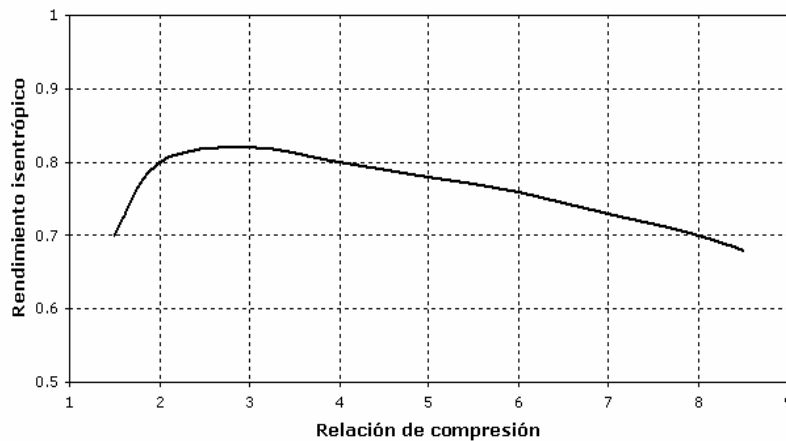
El COP disminuye al disminuir la temperatura de evaporación puesto que disminuye la potencia frigorífica y aumenta la potencia de compresión.

Efecto del cambio de la temperatura de condensación a estudiar por los alumnos.

8.4. Rendimiento isentrópico



$$\eta_s = \frac{\dot{W}_{c,s}}{\dot{W}_c} = \frac{h_{2,s} - h_1}{h_2 - h_1}$$



8.4. Rendimiento isentrópico

El rendimiento isentrópico cae para relaciones de compresión altas debido a que las pérdidas de calor y las fuerzas de rozamiento son mayores. Para bajas relaciones de compresión también cae debido a la fricción del flujo de refrigerante (para $rc=1$ no debería consumir trabajo)

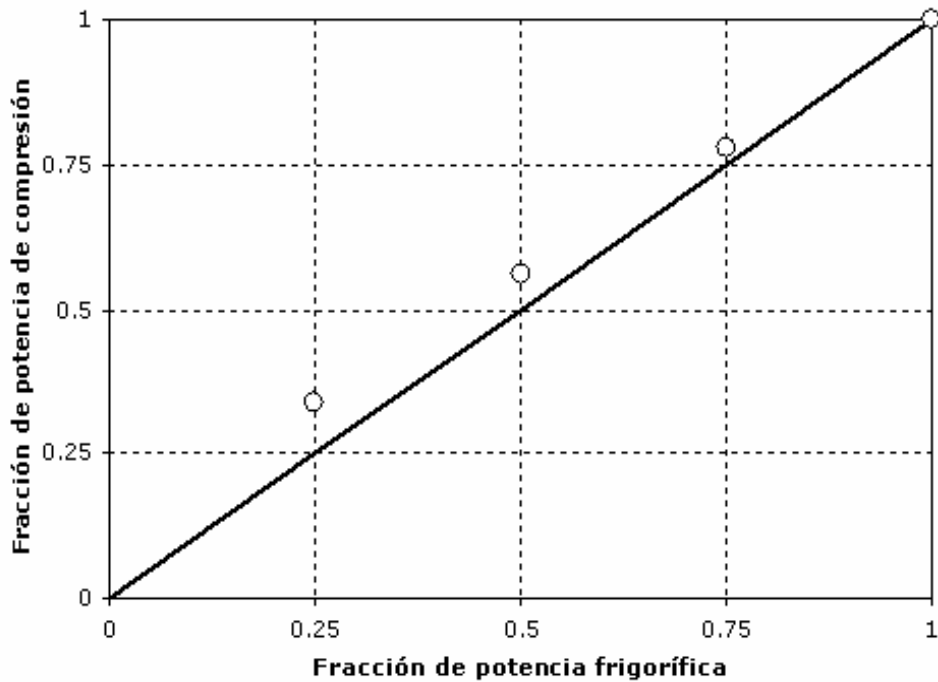
4. Regulación de capacidad en los compresores alternativos:

Cuando disminuye la carga sobre el evaporador, baja la potencia frigorífica a suministrar. Se debe regular la potencia a suministrar, de no ser así se puede subenfriar el producto:

Métodos de regulación:

- Arranque/parada, en sistemas pequeños.
- Variación de la velocidad de giro del compresor.
- Descarga de cilindros (se dejan abiertas las válvulas)
- Variando el espacio muerto C (no muy usada)
- By-pass entre descarga y aspiración (no tiene buena eficiencia).

8.5. Regulación de capacidad



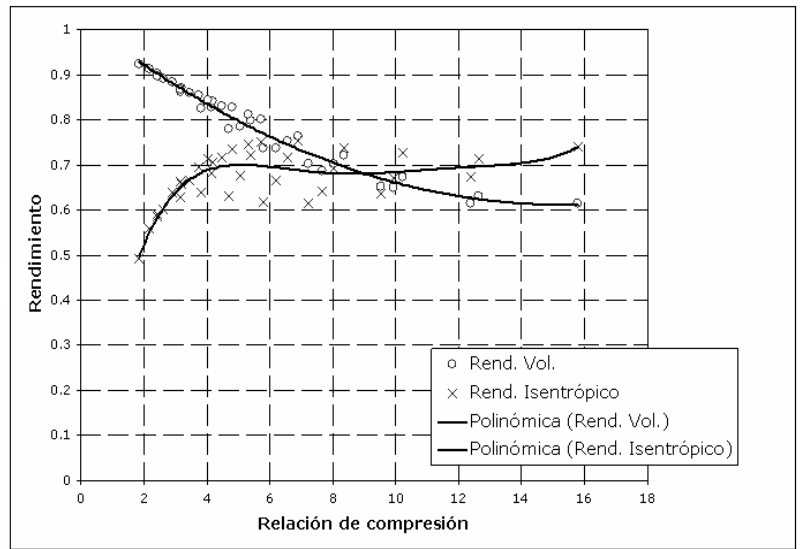
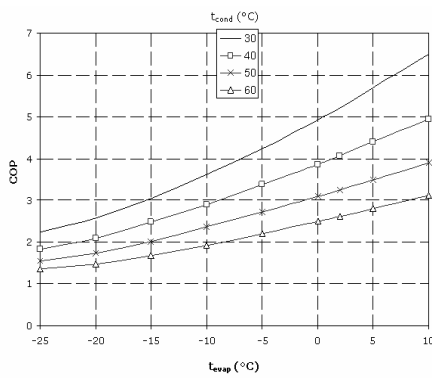
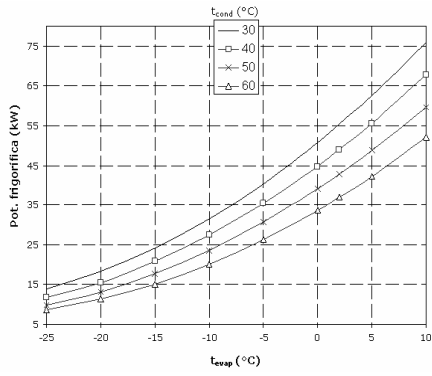
8.5. Regulación de capacidad

Cuando disminuye la carga sobre el evaporador, baja la potencia frigorífica a suministrar. Se debe regular la potencia a suministrar, de no ser así se puede subenfriar el producto:

Métodos de regulación:

- Arranque/parada, en sistemas pequeños.
- Variación de la velocidad de giro del compresor.
- Descarga de cilindros (se dejan abierta las válvulas)
- Variando el espacio muerto C (no muy usada)
- By-pass entre descarga y aspiración (no tiene buena eficiencia).

8.6. Uso de catálogos técnicos



Tema 9: Compresores de Tornillo



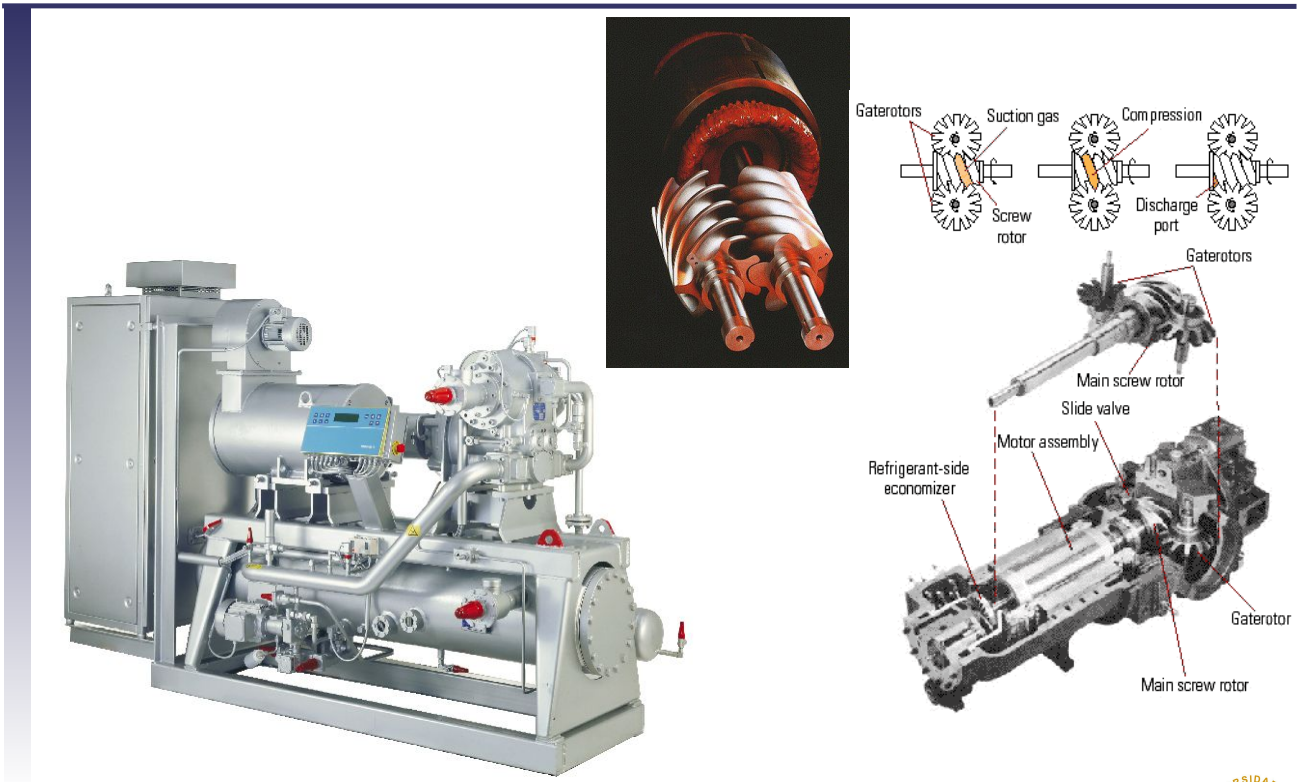
Juan F. Coronel Toro (jfc@us.es, <http://www.jfcoronel.org>)
Profesor Titular de Universidad
Dpto. Ingeniería Energética, Universidad de Sevilla

Tema 9: Compresores de Tornillo

1. Introducción
2. Como funcionan los compresores de tornillo
3. Control de capacidad y funcionamiento a carga parcial
4. Compresores con relación volumétrica variable
5. Inyección de aceite en los compresores de tornillo
6. Circuito economizador



9.1. Introducción



9. Compresores de Tornillo



9.1. Introducción

Dos tipos de compresores de tornillo:

- Dos tornillos: El más usado y el que se va a estudiar en este tema.
- Un solo tornillo.

Inventor: Alf Lysholm de la compañía STAL de los hermanos Ljungstrom (Suecia) en 1920s, en 1950s se añade la lubricación con aceite. Fue diseñado para comprimir aire pero en 1950s se empieza a usar con refrigerantes. Con el mecanizado por control numérico en 1970s dio un último impulso. En las aplicaciones de refrigeración industrial el compresor de tornillo es el segundo más importante, especialmente para gran potencia.

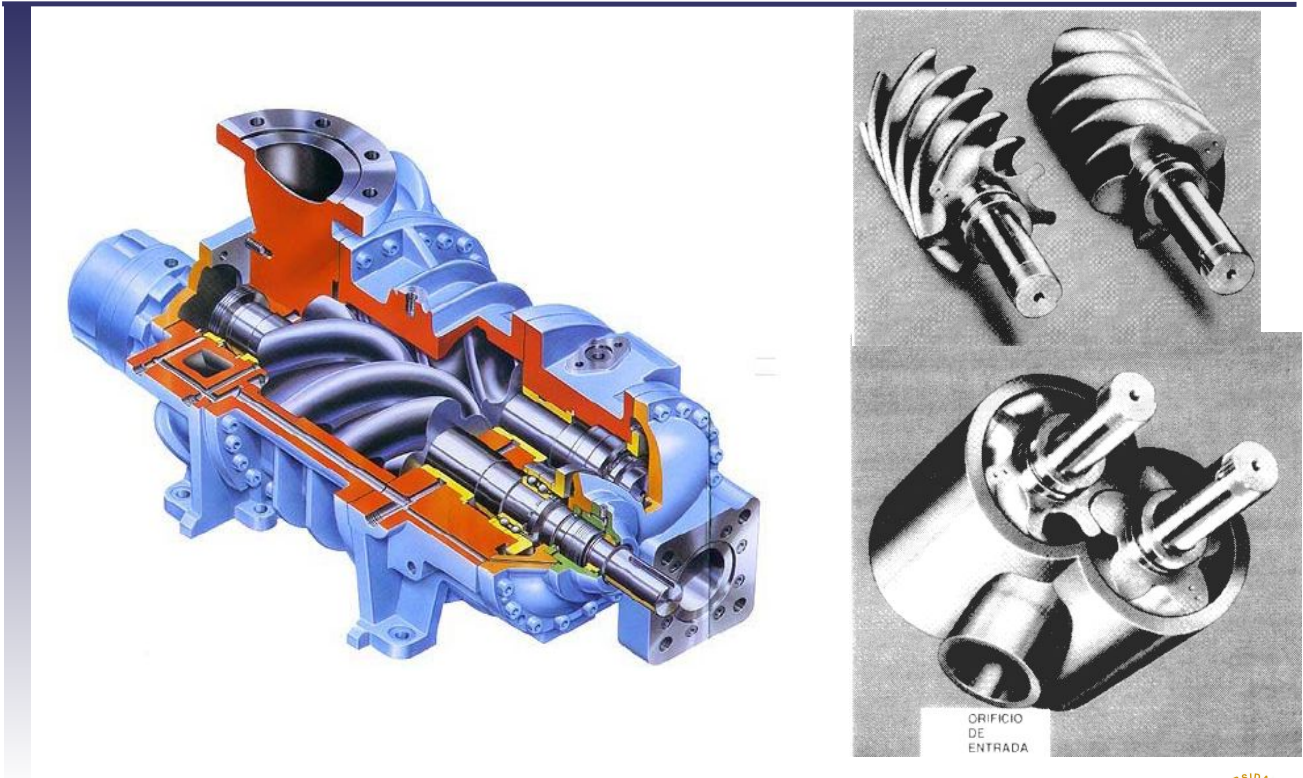
Rango de uso: 180 a 5400 m³/h con motores de 25 a 1250 kW y funcionando usualmente a 2950 rpm.

La lubricación con aceite tiene mayor importancia, el aceite se inyecta sobre los ejes, cojinetes y directamente sobre los tornillos, en los tornillos el aceite realiza dos funciones: Lubricar el engrane y el contacto con la carcasa y servir de sellado o cierre entre cámaras, este aceite se calienta y es arrastrado por el refrigerante posteriormente deberán ser separados (separador de aceite) y el aceite debe ser enfriado y reinyectado.

El compresor de tornillo suele compararse formando un paquete con el motor eléctrico, la electrónica de regulación, el separador de aceite, el intercambiador para enfriar aceite, válvulas, filtros, etc...

A partir de 1500 m³/h de circulación de refrigerante se hace necesario la utilización de múltiples compresores alternativos y es cuando el coste inicial de los compresores de tornillo se hace menor que la opción alternativa.

9.2. Como funcionan los compresores de tornillo



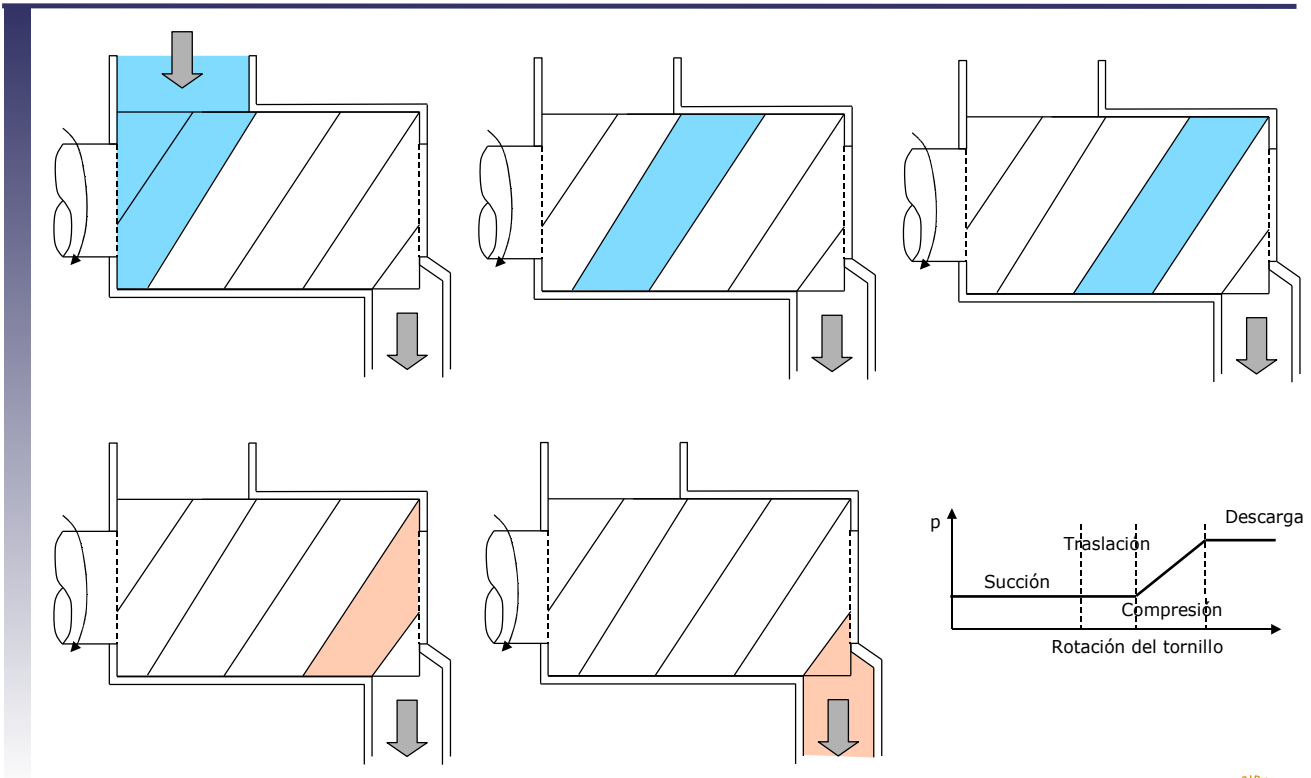
9. Compresores de Tornillo



9.2. Como funcionan los compresores de tornillo

- Tornillo macho: Rotor accionado por el motor con lóbulos
- Tornillo hembra: Montado sobre cojinetes, arrastrado por el macho
- Combinación Lóbulos/Acanaladuras: 4/6, 5/7 ó 3/5.
- Diámetros nominales típicos: 125, 160, 200, 250 y 320 mm.
- L / D típicos: 1.12 a 1.7

9.2. Como funcionan los compresores de tornillo



9. Compresores de Tornillo



Proceso del refrigerante a través del compresor:

- **Succión:** Llenado de la cavidad con el gas de succión.
- **Traslación:** El gas queda atrapado entre los tornillos y la carcasa.
- **Compresión:** El volumen de esta cavidad se reduce.
- **Descarga:** El gas es descargado por el orificio de descarga.

Parámetros:

Relación volumétrica

$$v_i = \frac{\text{Volumen de la cavidad inmediatamente después de cerrarse}}{\text{Volumen de la cavidad inmediatamente antes de abrirse}}$$

Los compresores de tornillo no tienen válvulas y por tanto comprimen el gas desde un volumen inicial hasta otro final fijos.

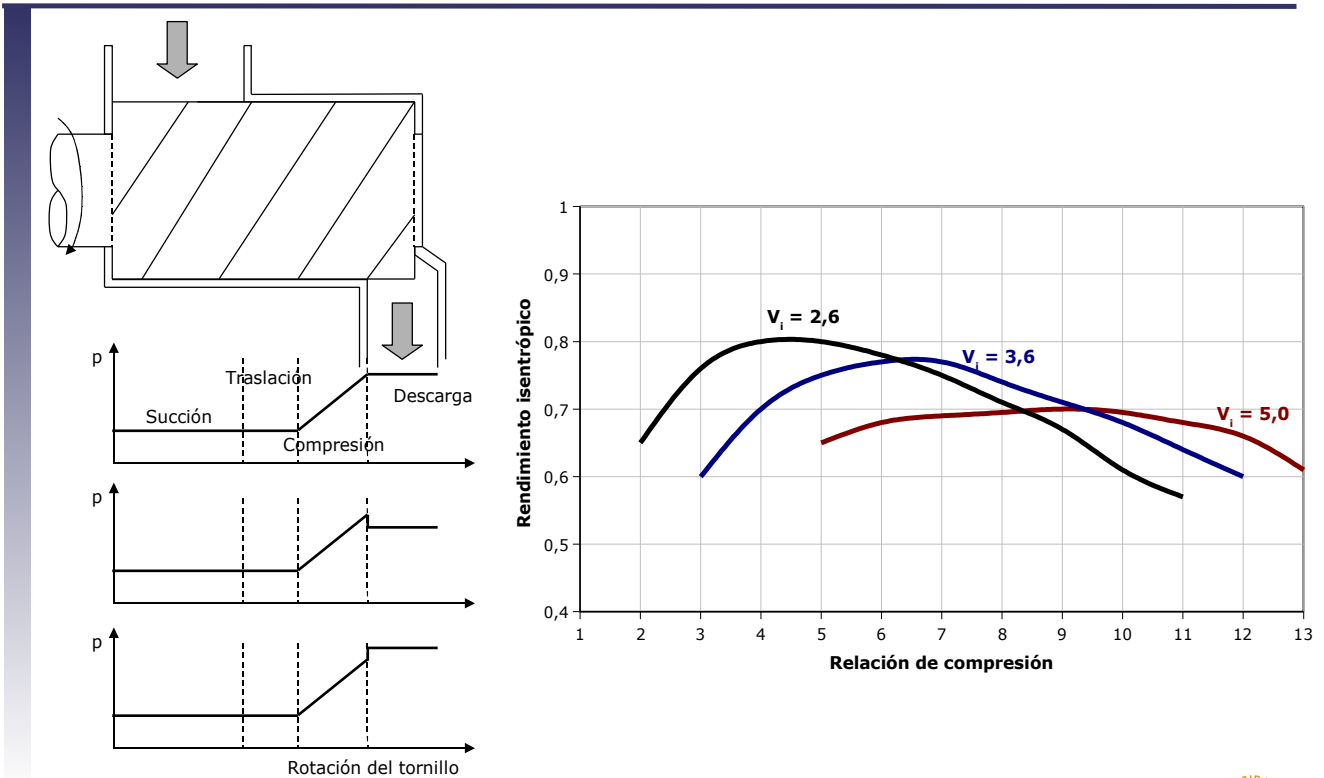
Valores típicos de v_i son 2.6, 3.6, 4.2 y 5.0.

Para el caso de compresión isentrópica

$$r_c = \frac{P_{des}}{P_{suc}} = \left(\frac{v_{suc}}{v_{des}} \right)^\gamma = v_i^\gamma \quad \text{Donde} \quad \gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

γ vale 1.29 para el amoníaco y 1.18 para el R-22

9.2. Como funcionan los compresores de tornillo



9. Compresores de Tornillo



Puede ocurrir que la relación de compresión sea exactamente la que es necesario p_{cond}/p_{evap} y por tanto el gas cuando comienza el proceso de descarga está exactamente a la misma presión que la línea 1ª gráfica.

Sí la presión en la descarga es mayor que la de condensación se produce una expansión del gas en el momento en que el tornillo se abre. Si por el contrario la presión es inferior se produce una entrada de gas de la línea hacia la cavidad que incrementa la presión de la misma, la rotación del tornillo expulsa posteriormente el gas fuera.

Así el rendimiento isentrópico o adiabático definido como:

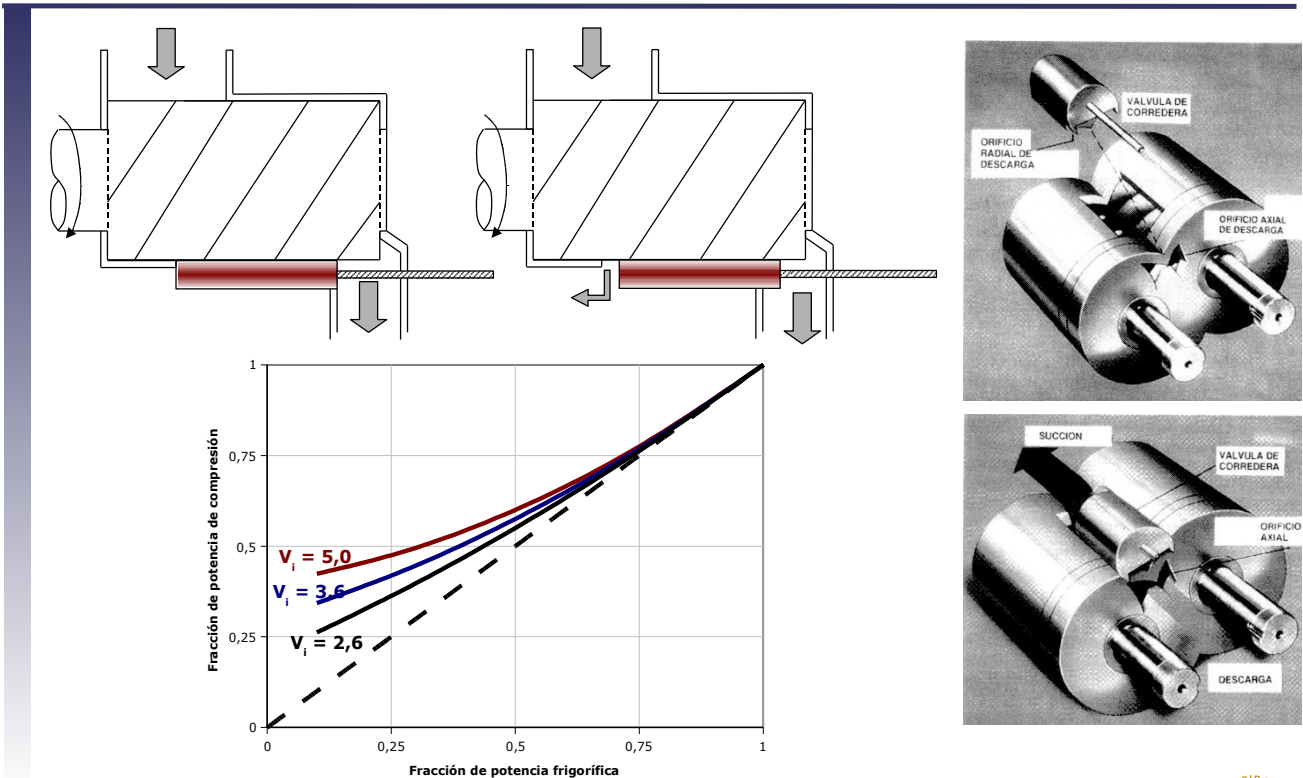
$$\eta_s = \frac{\text{Trabajo de compresión isentrópico}}{\text{Trabajo de compresión real}}$$

Depende de la relación de compresión existente y de v_i

El máximo se produce a una relación de compresión ligeramente mayor que la que daría v_i . Debido a que el proceso no es adiabático y que existen pequeñas fugas de refrigerante.

Debe seleccionarse un compresor con v_i que haga que la relación de compresión de diseño sea ligeramente mayor a la relación de compresión que produce el pico, puesto que usualmente la temperatura de condensación será menor a la de diseño y por tanto tendremos una relación de compresión menor a la de diseño.

9.3. Control de capacidad y funcionamiento a carga parcial



9.3. Control de capacidad y funcionamiento a carga parcial

Para disminuir la potencia frigorífica suministrada por el compresor se utiliza usualmente la "válvula de corredera".

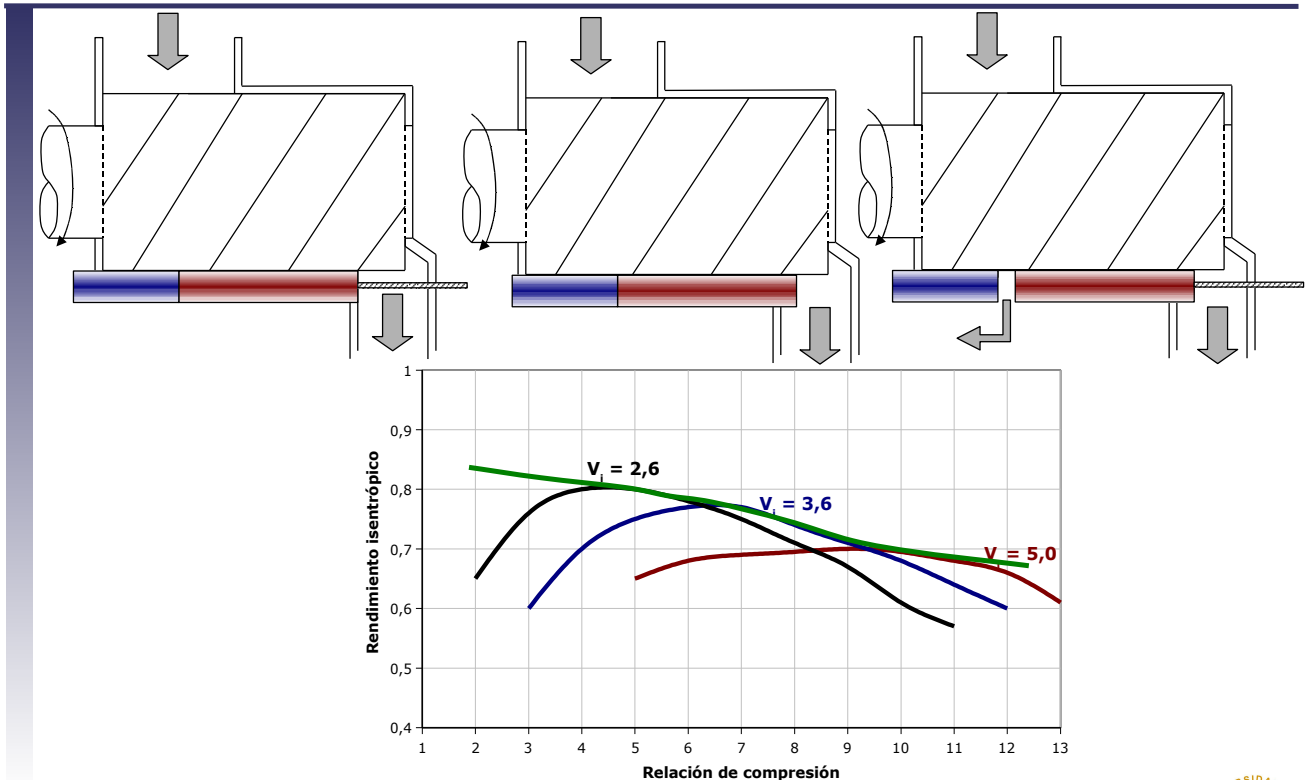
Cuando la válvula de corredera se mueve una fracción del gas que entra por la succión vuelve a la entrada sin ser comprimido. La regulación de potencia es continua y puede reducir hasta un 10% la capacidad frigorífica del compresor.

El consumo a carga parcial es más que lineal debido a dos razones:

1. El rozamiento del gas que es recirculado hacia la entrada.
2. El cambio del v_i del compresor que se supone diseñado para condiciones de plena carga.

Existe también la posibilidad de utilizar motores de dos velocidades conjuntamente con la válvula de corredera, o añadir un variador de frecuencia al motor para poder variar la velocidad de giro del motor (sin válvula de corredera).

9.4. Compresores con relación volumétrica variable



9.4. Compresores con relación volumétrica variable

El rendimiento isentrópico del compresor tiene un máximo en función del v_i . Sería interesante poder variar el v_i en función de la relación de compresión. La relación de compresión suele cambiar durante el periodo de funcionamiento debido fundamentalmente al cambio de las condiciones del aire exterior que hacen cambiar la temperatura de condensación. El dispositivo con v_i variable consiste en dos válvulas de corredores móviles. Cuando se mueven ambas se cambia el v_i del compresor y al mover sólo la segunda se realiza la regulación de capacidad.

9.5. Inyección de aceite en compresores de tornillo

Objetivos:

1. Cierre de fugas entre los dos tornillos y entre los tornillos y la carcasa.
2. Lubricación de los ejes y cojinetes
3. Mover la válvula de corredera.

El aceite abandona el compresor mezclado con el refrigerante es necesario un separador de aceite. El aceite se encuentra a alta presión y temperatura y debe ser enfriado antes de ser reinyectado en el compresor.

Tipos de separadores de aceite:

□ De inercia

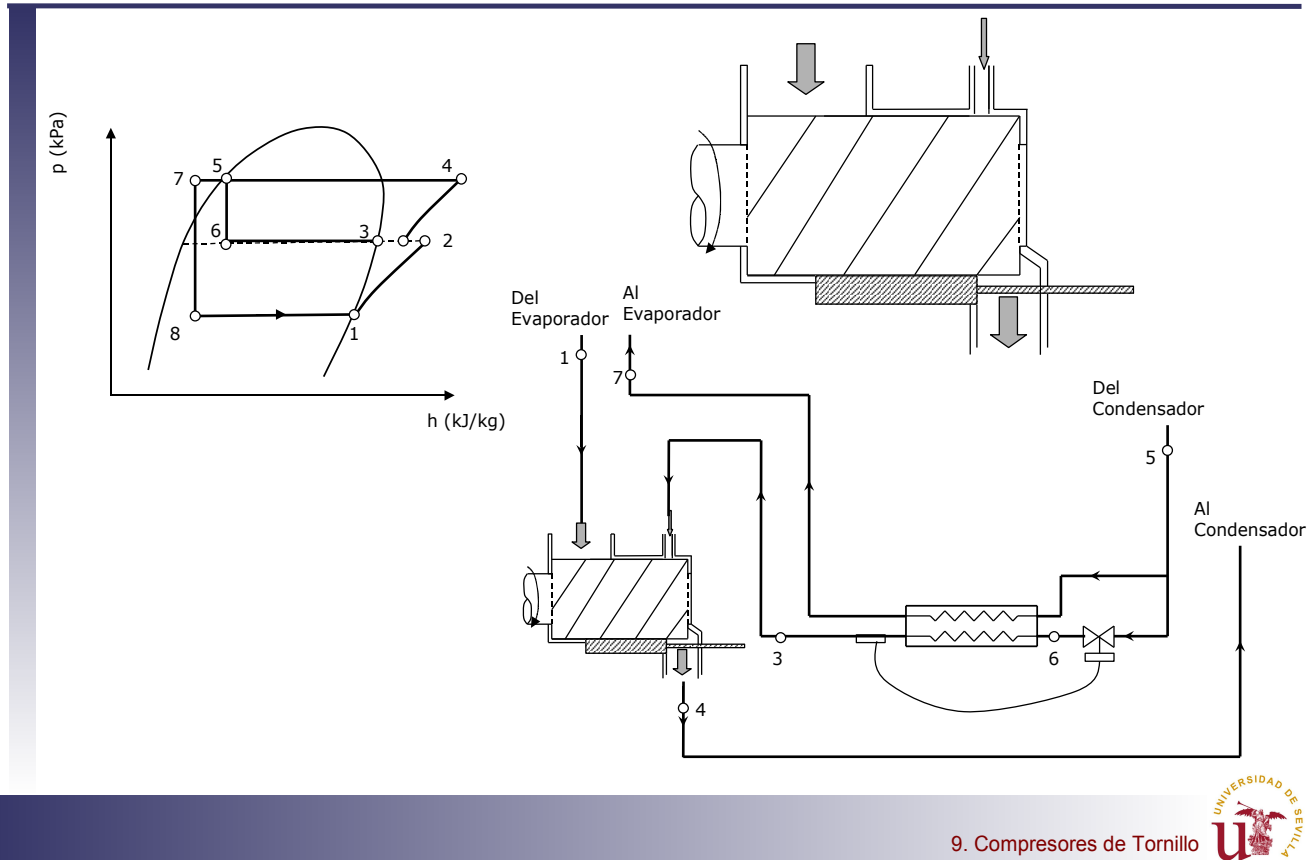
Coalescentes (los más usados).

Rangos: 0.065 a 0.11 L/min por kW de refrigeración.

Métodos de refrigeración del aceite:

1. Inyección directa de refrigerante líquido.
2. Enfriamiento externo con un intercambiador con termosifón (más usado)
3. Enfriamiento externo con agua o antecongelantes.
4. Bombeo de refrigerante líquido en la mezcla de descarga del compresor

9.6. Circuito economizador



9. Compresores de Tornillo



9.6. Circuito economizador utilizando una entrada intermedia.

Se combina una inyección intermedia con un subenfriamiento del líquido. Ambos efectos aumentan la potencia frigorífica del ciclo.

Este sistema ECO o economizador ofrece parcialmente las ventajas de un ciclo de compresión múltiple.