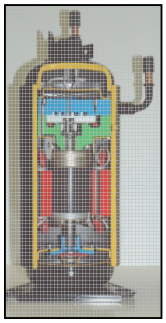
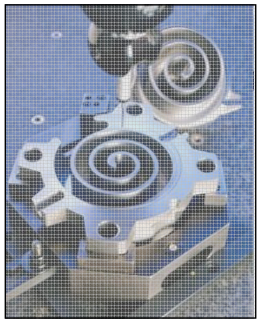
El Compresor Scroll

Departamento: **Ingeniería Eléctrica y Energética**
Area: **Máquinas y Motores Térmicos**

CARLOS J RENEDO **renedoc@unican.es**
Despachos: ETSN 236 / ETSIIT S-3 26
http://personales.unican.es/renedoc/index.htm
Tlfn: ETSN 942 20 13 44 / ETSIIT 942 20 13 82

El Compresor Scroll

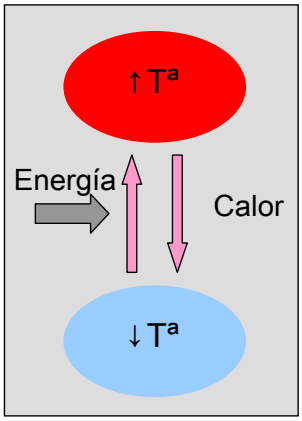
1.- Introducción
2.- Refrigeración por Compresión
3.- Compresores
4.- El Compresor Scroll
5.- Proceso de compresión del Scroll
6.- Conformidad del Scroll
7.- Inyección de Refrigerante
8.- Regulación del Scroll

1.- Introducción

En los sistemas de refrigeración interviene un fluido (refrigerante, comportamiento conocido)

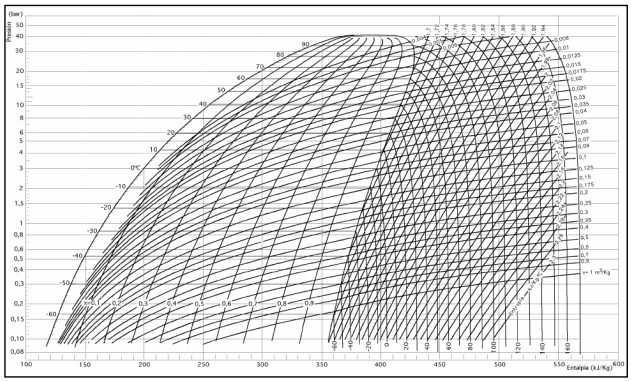
Sufre una serie de transformaciones termodinámicas

Refrigeración evaporativa, torres de refrigeración
Refrigeración por vacío, magnética, …



2.- Refrigeración por Compresión (I)

Basado en los cambios de estado (líquido-vapor y vapor-líquido) de un fluido refrigerante



T de cambio de estado = f(p)
(si p↓ la T↓, si p↑ la T ↑)

Q latente >> Q sensibles
(↓ cant. refrig y tamaño maq.)

Su busca tener un líquido a baja p y T para evaporarlo

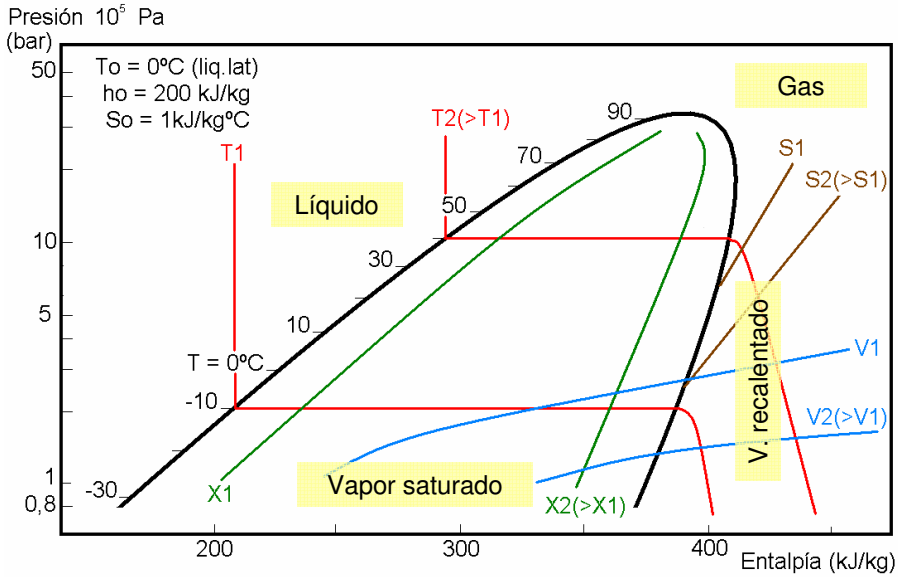
El calor requerido lo toma de los alrededores (los enfría)

En un sistema abierto el refrigerante se perdería en la atmósfera; lo normal es trabajar con ciclos de refrigeración

El Compresor Scroll

2.- Refrigeración por Compresión (II)

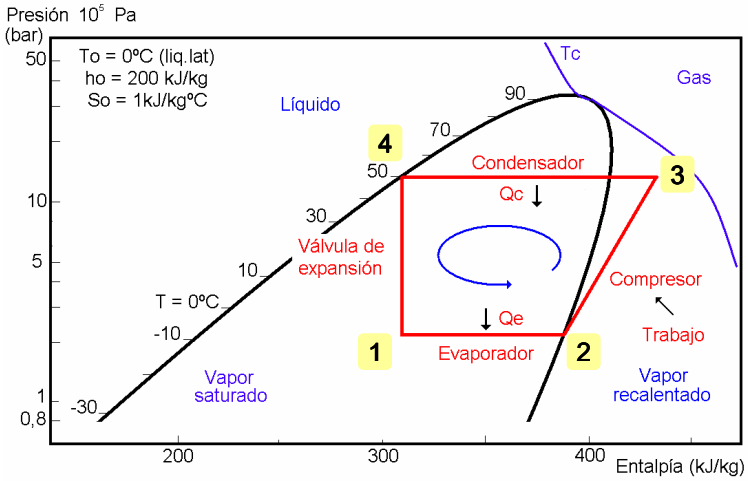
Diagrama de un fluido refrigerante



2.- Refrigeración por Compresión (III)

Ciclo de compresión

Los elementos requeridos son:
- evaporador (1-2)
- compresor (2-3)
- condensador (3-4)
- expansión (4-1)

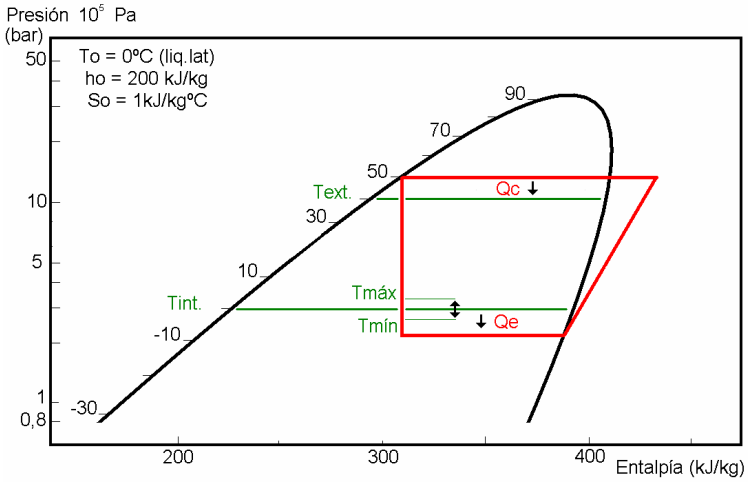


El Compresor Scroll

2.- Refrigeración por Compresión (IV)

Límites de Funcionamiento

- En el evaporador: la T de la cámara > T del refrig
- En el condensador: la T ambiente < T del refrig



El Compresor Scroll

2.- Refrigeración por Compresión (V)

Rendimiento

Hay que conocer las energías y los calores;

- El calor extraído de la cámara es: $(h_2 - h_1)$ (kJ/kg)
- El calor cedido al exterior es: $(h_4 - h_3)$ (kJ/kg)
- El trabajo útil del compresor es: $(h_3 - h_2)$ (kJ/kg)

Las ***h*** se toman del diagrama o las tablas del refrigerante

COP (***CO***efficient of ***P***erformance)

En función de las temperaturas del ciclo puede ser superior a 3

$$COP = \frac{\text{Calor Extraido } (h_2 - h_1)}{\text{Trabajo Compresor } (h_3 - h_2)}$$

EER (***E***nergy ***E***fficiency ***R***atio)

En aire ac. puede ser superior a 13

$$EER = \frac{\text{Capacidad Frigorífica (BTUh)}}{\text{Potencia Compresor (W)}}$$

SEER (***S***easonal ***E***nergy ***E***fficiency ***R***atio)

El EER durante un periodo de tiempo

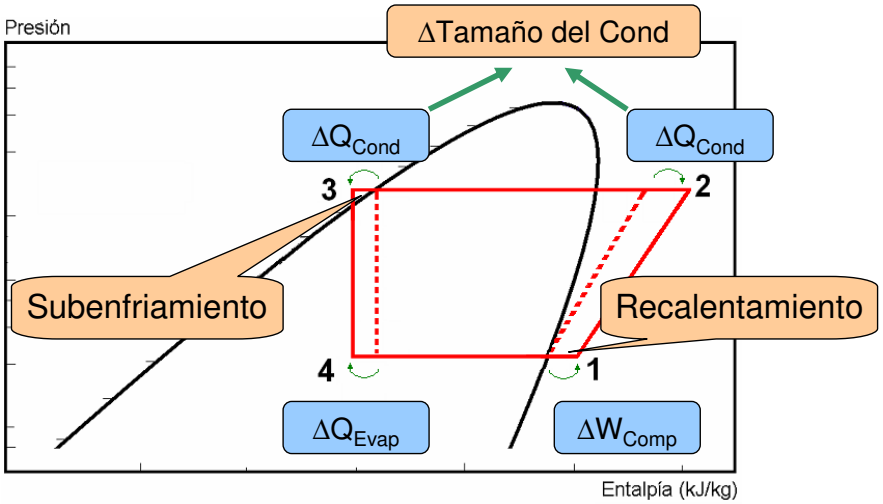
1.000 BTU = 293 Wh

El Compresor Scroll

2.- Refrigeración por Compresión (VI)

Subenfriamiento: salida del condensador, asegura líquido en la Val. Exp.

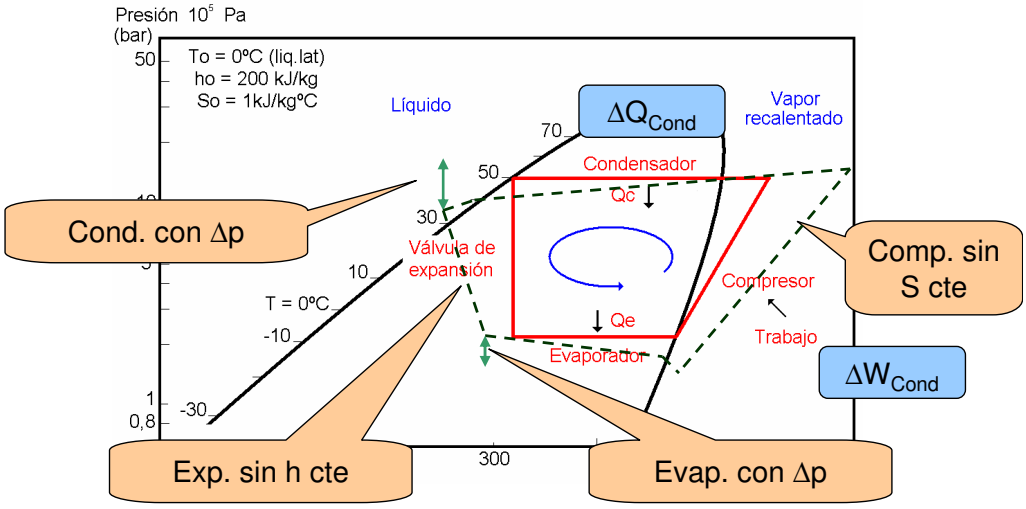
Recalentamiento: salida del evaporador, asegura vapor en el Comp.



2.- Refrigeración por Compresión (VII)

Ciclo Real:

- Con pérdidas de presión en condensador y evaporador
- La compresión no es isoentrópica
- La expansión no es isoentálpica

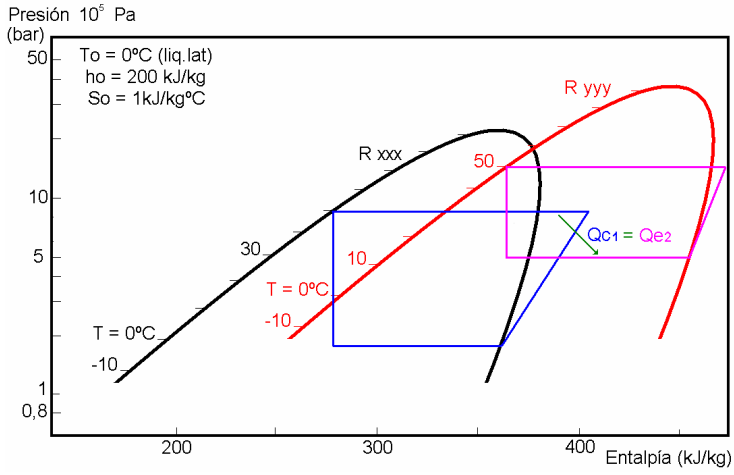


El Compresor Scroll

2.- Refrigeración por Compresión (VIII)

Ciclos en Cascada

Un evaporador refrigera un condensador
Con el mismo u otro refrigerante
Para ↓Tª

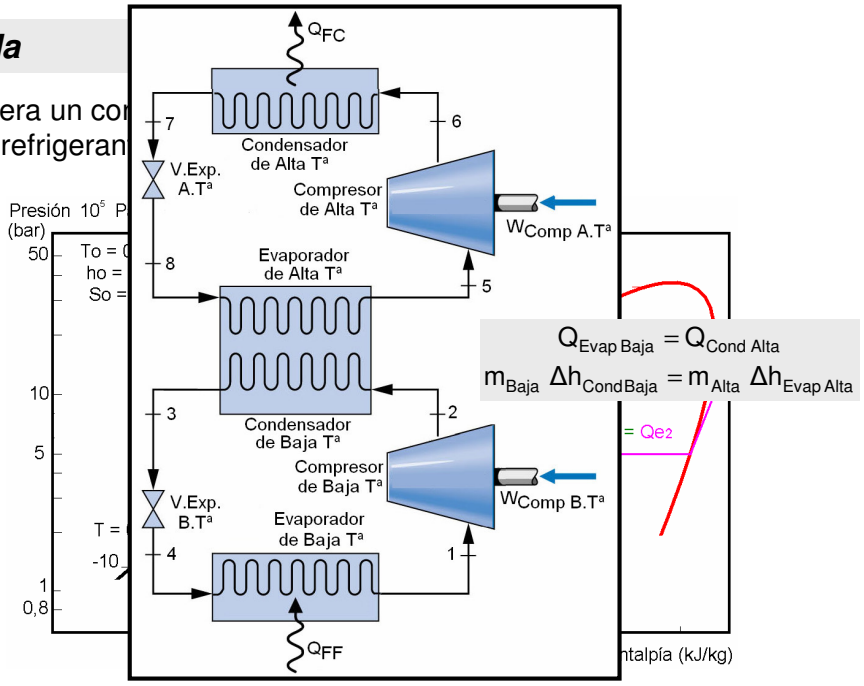


El Compresor Scroll

2.- Refrigeración por Compresión (VIII)

Ciclos en Cascada

Un evaporador refrigera un cor
Con el mismo u otro refrigeran
Para ↓Tª

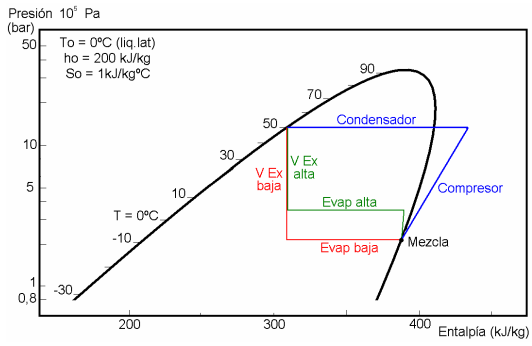


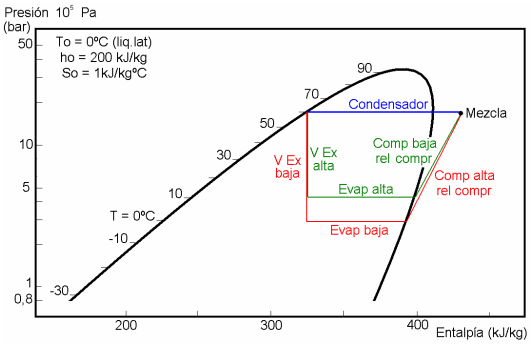
$$Q_{Evap\ Baja} = Q_{Cond\ Alta}$$
$$m_{Baja}\ \Delta h_{Cond\ Baja} = m_{Alta}\ \Delta h_{Evap\ Alta}$$

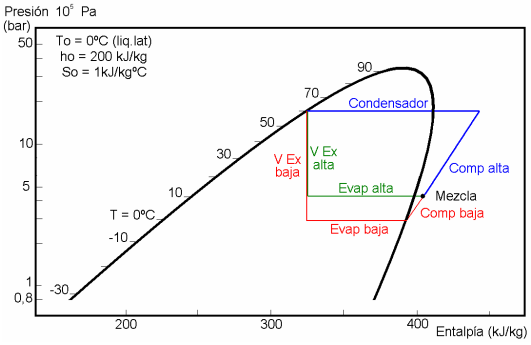
El Compresor Scroll

2.- Refrigeración por Compresión (IX)

Ciclos para varios espacios a dif. Tª



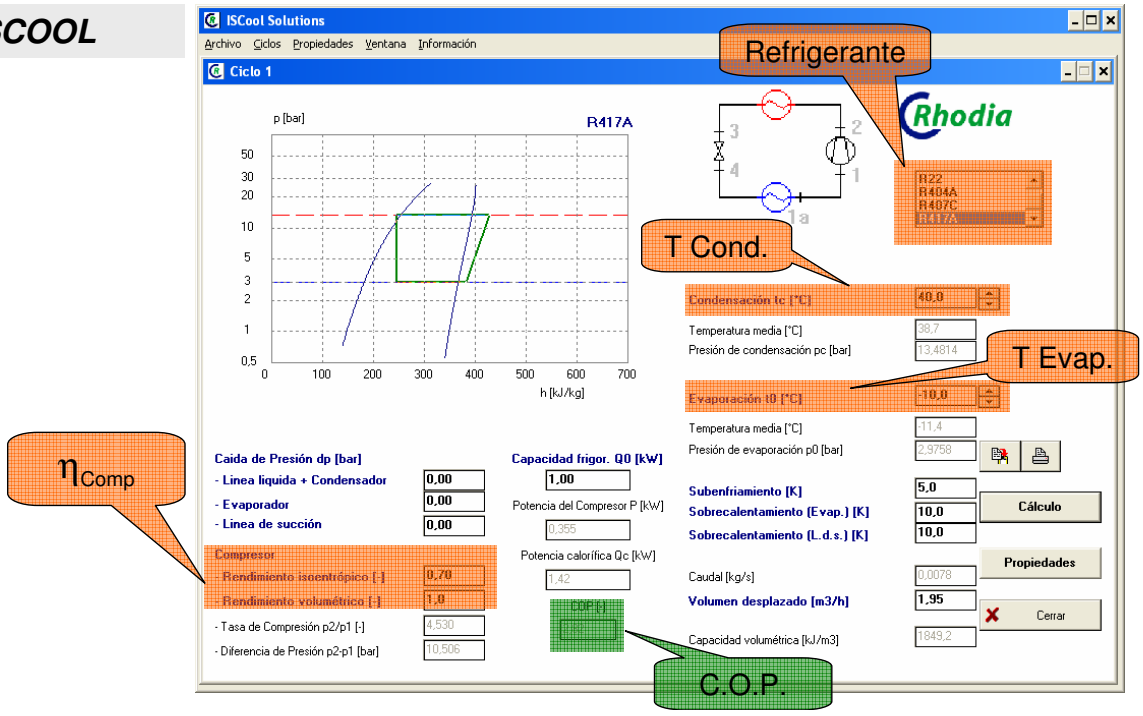




El Compresor Scroll

2.- Refrigeración por Compresión (X)

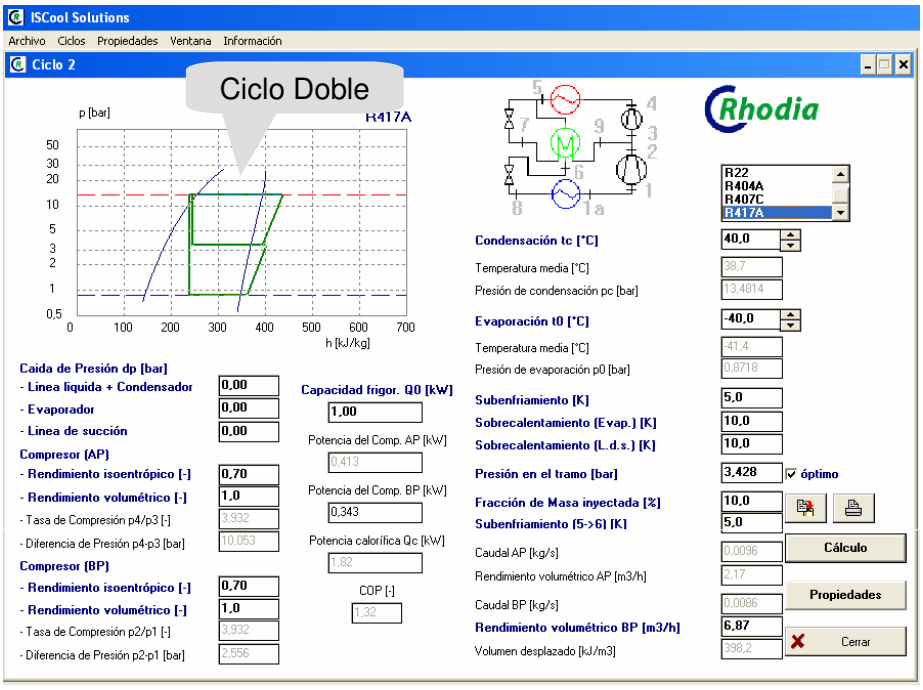
ISCOOL



El Compresor Scroll

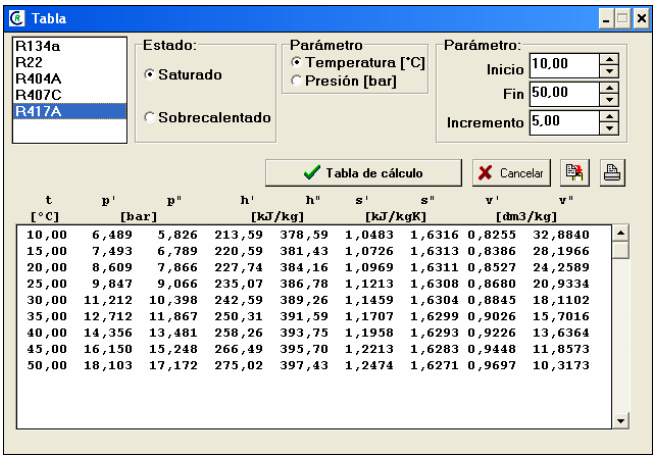
2.- Refrigeración por Compresión (XI)

ISCOOL



2.- Refrigeración por Compresión (XII)

ISCOOL

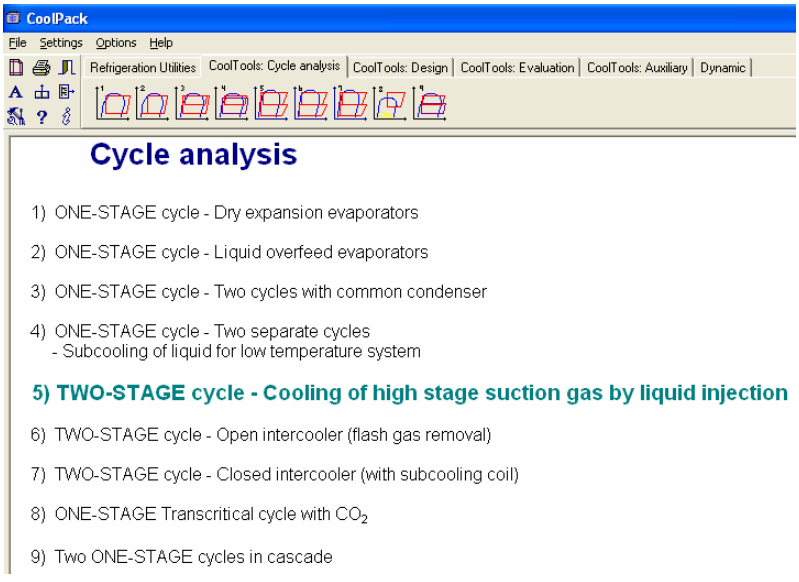


t [°C]	p' [bar]	p" [bar]	h' [kJ/kg]	h" [kJ/kg]	s' [kJ/kgK]	s" [kJ/kgK]	v' [dm3/kg]	v" [dm3/kg]
10,00	6,489	5,826	213,59	378,59	1,0483	1,6316	0,8255	32,8840
15,00	7,493	6,789	220,59	381,43	1,0726	1,6313	0,8386	28,1966
20,00	8,609	7,866	227,74	384,16	1,0969	1,6311	0,8527	24,2589
25,00	9,847	9,066	235,07	386,78	1,1213	1,6308	0,8680	20,9334
30,00	11,212	10,398	242,59	389,26	1,1459	1,6304	0,8845	18,1102
35,00	12,712	11,867	250,31	391,59	1,1707	1,6299	0,9026	15,7016
40,00	14,356	13,481	258,26	393,75	1,1958	1,6293	0,9226	13,6364
45,00	16,150	15,248	266,49	395,70	1,2213	1,6283	0,9448	11,8573
50,00	18,103	17,172	275,02	397,43	1,2474	1,6271	0,9697	10,3173

El Compresor Scroll

2.- Refrigeración por Compresión (XIII)

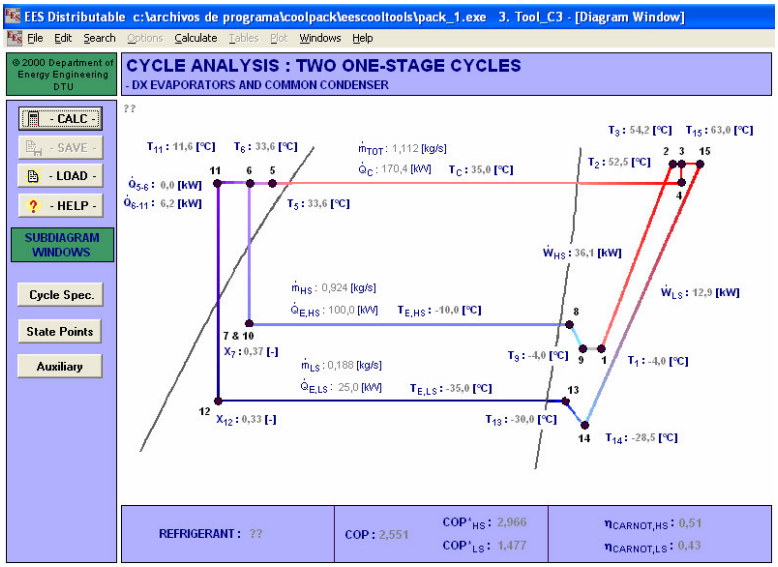
COOLPACK



El Compresor Scroll

2.- Refrigeración por Compresión (XIV)

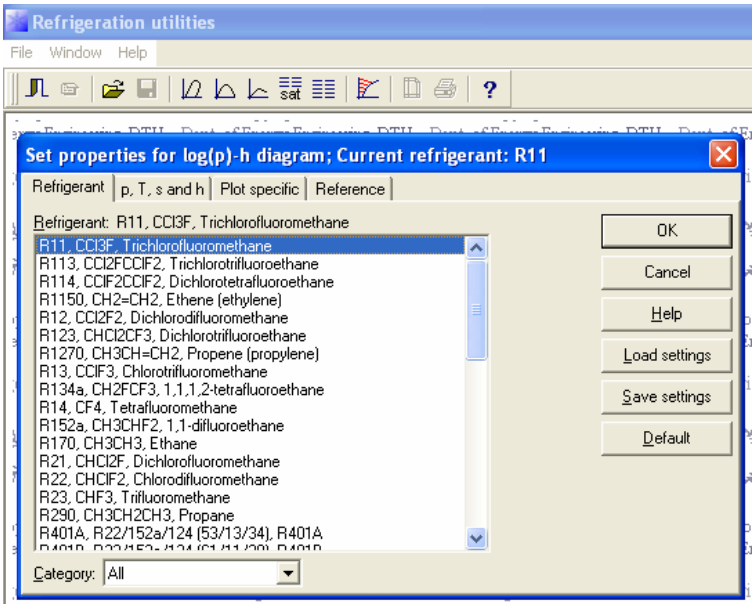
COOLPACK



El Compresor Scroll

2.- Refrigeración por Compresión (XV)

COOLPACK



. . .

El Compresor Scroll

2.- Refrigeración por Compresión (XVI)

El Compresor Scroll

3.- Compresores (I)

El componente más importante del equipo
- Partes móviles (mantenimiento, ruido)
- Mayor consumo energético
- Costoso

Recibe el freón proveniente del evaporador (vapor a baja presión y temperatura) por la tubería de aspiración. Lo comprime (elevando su presión y temperatura), expulsándolo por la tubería de descarga hacia el condensador

La compresión requiere energía mecánico ⇒ consumo energético

Son aptos para un fluido refrigerante (indicado en su placa característica)

Han de ser estancos al aire (humedad)

Fabricantes: Copeland, L´Unite Hermetique Danfoss, Bitzer, Tecumsen, Carlyle…

El Compresor Scroll

3.- Compresores (II)

***Clasificación:* (I)**

Por el modo de accionamiento

- Eléctricos (habitual)
- Gas (cias de gas)
- Motor diesel
- Turbina …

Por la separación entre compresor y accionamiento

- Herméticos (eléctricos, pequeña potencia)
- Semiherméticos
- Abiertos (sin interacción de averías)

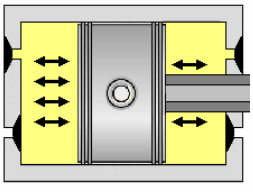
El Compresor Scroll

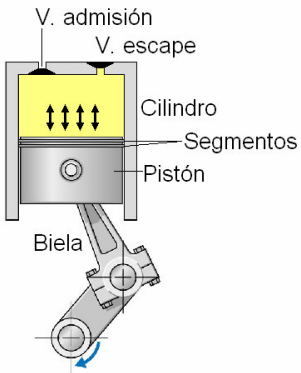
3.- Compresores (III)

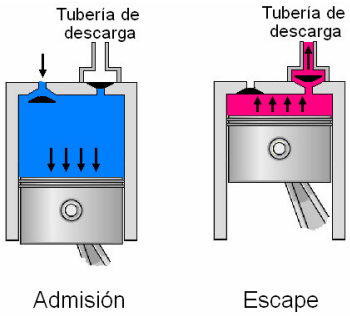
***Clasificación:* (II)**

Por el modo de compresión (I)

- Alternativos (reciprocantes)
  - La presión se ajusta
  - Vibraciones
  - 2 válvulas
  - Flujo pulsante
  - Comportamiento conocido







La capacidad se puede regular descargando algún cilindro

El Compresor Scroll

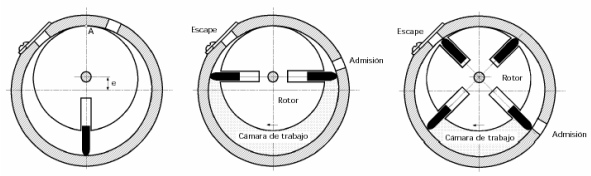
3.- Compresores (IV)

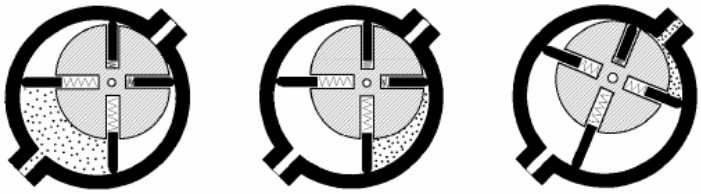
***Clasificación:* (III)**

Por el modo de compresión (II)

- Rotativos (I)

  - *De paletas:*
    Silenciosos
    Sin válvula de admisión
    Sensibles golpe de líquido
    Débil estanqueidad
    (bajas relaciones de compresión)





El Compresor Scroll

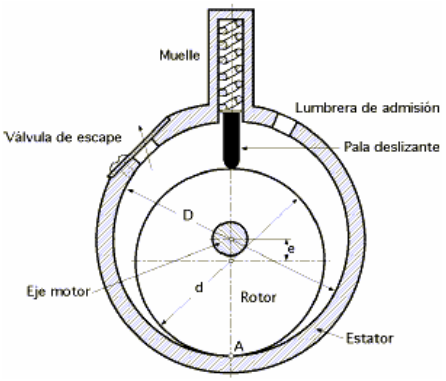
3.- Compresores (V)

***Clasificación:* (IV)**

Por el modo de compresión (III)

- Rotativos (II)

  - *De rodillo:*
    Silenciosos
    Sin válvula de admisión
    Sensibles golpe de líquido
    Débil estanqueidad
    (bajas relaciones de compresión)



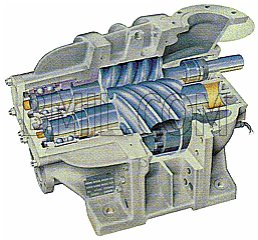
$$V = (\pi \times (R^2 - r^2) - (e \times L_p \times N_p)) \times L_r \times n \times 60 \quad (m^3/h)$$

R y *r* los radios del estator y el rotor
L_r y L_p longitudes del rotor y de la paleta
e el espesor de la paleta
N_p el número de paletas
n la velocidad de giro

El Compresor Scroll

3.- Compresores (VI)

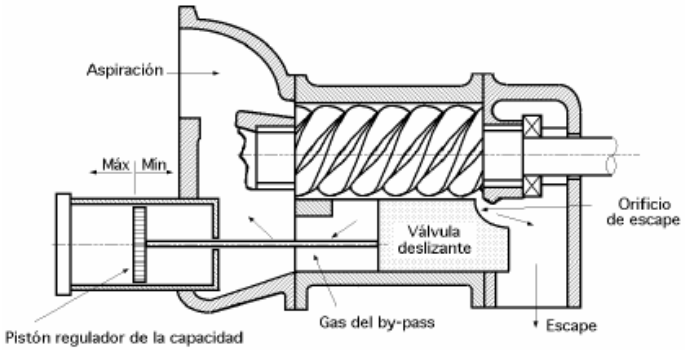
Clasificación: (V)



Por el modo de compresión (IV)

- Rotativos (III)

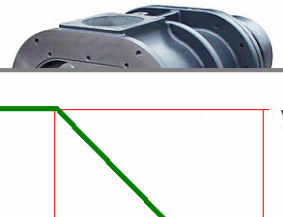
  - *De tornillo* (I):
    De doble tornillo
    Macho-hembra
    Sellado con aceite
    Sin válvulas
    Relación de compresión fija
    Regulación de capacidad
    Inyección de vapor frío

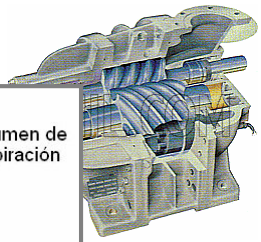


El Compresor Scroll

3.- Compresores (VI)

Clasificación: (V)

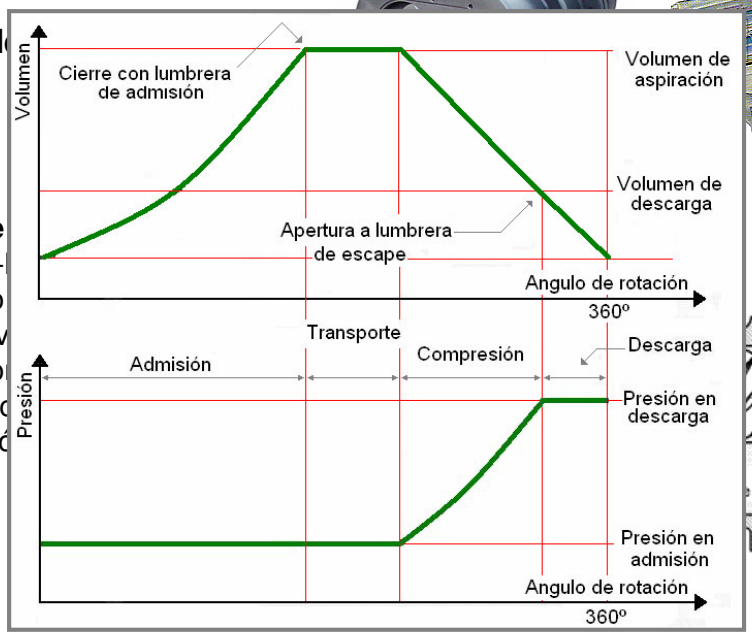




Por el modo d

- Rotativos (III)

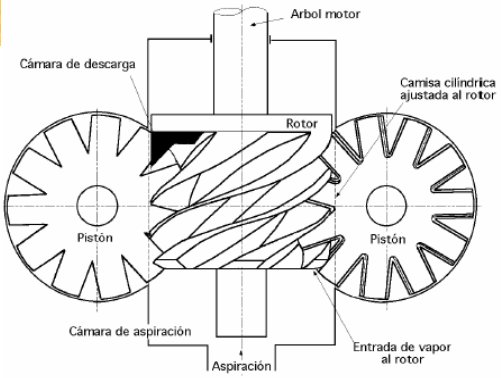
  - *De tornillo*
    De doble
    Macho-
    Sellado
    Sin válv
    Relació
    Regulac
    Inyecció



El Compresor Scroll

3.- Compresores (VII)

***Clasificación:* (VI)**



Por el modo de compresión (V)

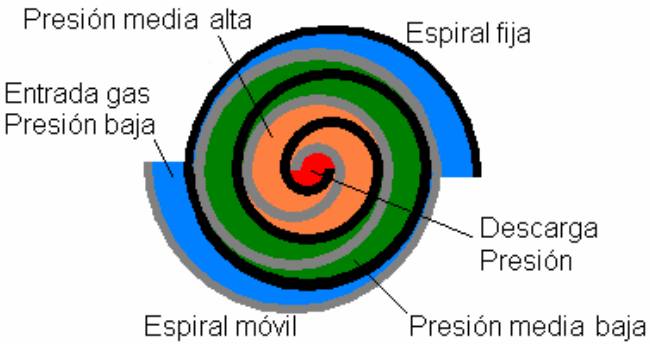
- Rotativos (IV)

  - *De tornillo* (II):
    De tornillo simple
    (triple tornillo)
    Tornillo y dos satélites
    Control de capacidad (anillo)

El Compresor Scroll

3.- Compresores (VIII)

***Clasificación:* (VII)**



Por el modo de compresión (VI)

- Rotativos (V)

  - *Scroll* (I):
    Dos volutas en forma de espiral
    Varias cámaras enfrentadas
    Flujo continuo
    Sin válvulas
    Relación de compresión fija
    Regulación de capacidad con varias lumbreras de descarga
    Necesita válvula antirretorno
    El sellado no soporta toda la diferencia de presión
    Resistente a la entrada de líquido

El Compresor Scroll

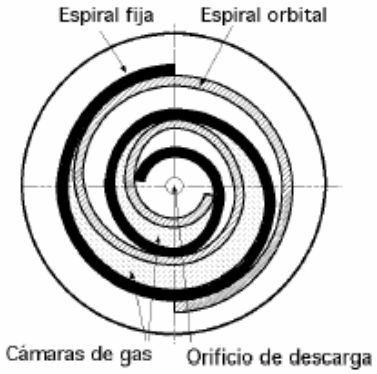
3.- Compresores (IX)

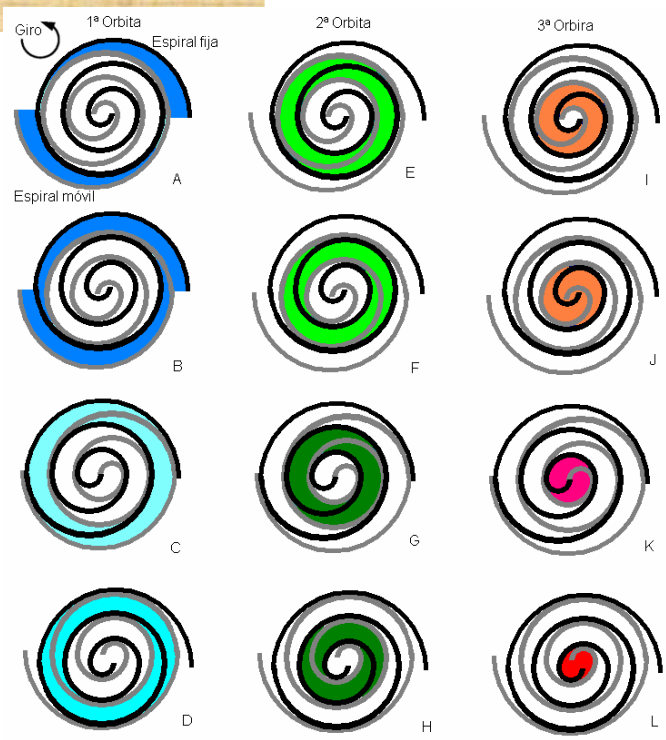
***Clasificación:* (VIII)**

Por el modo de compresión (VII)

- Rotativos (VI)

  - *Scroll* (II):





El Compresor Scroll

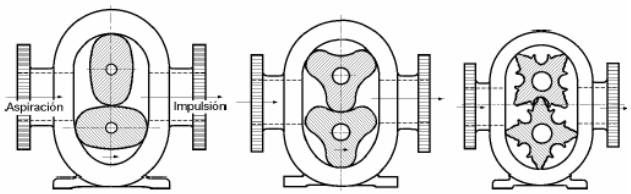
3.- Compresores (X)

***Clasificación:* (IX)**

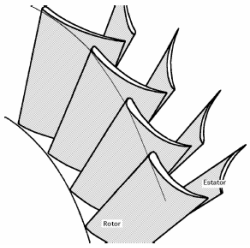
Por el modo de compresión (VIII)

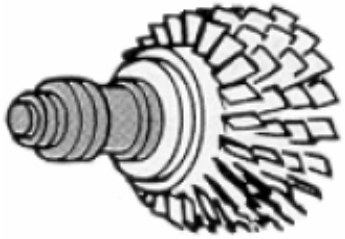
- Rotativos (VII)

  - *Engranajes*:
    Dos engranajes, uno accionado



  - *Axiales*:
    Baja relación de compresión
    Grandes volúmenes





El Compresor Scroll

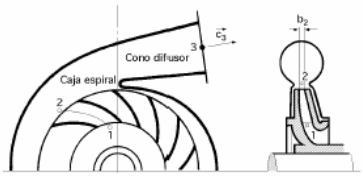
3.- Compresores (XI)

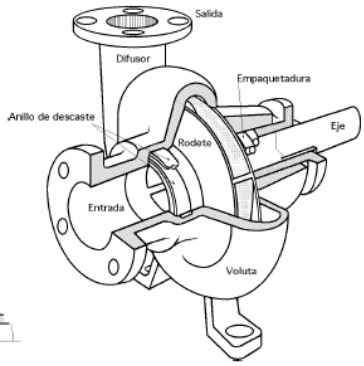
***Clasificación:* (X)**

Por el modo de compresión (IX)

- Rotativos (VIII)

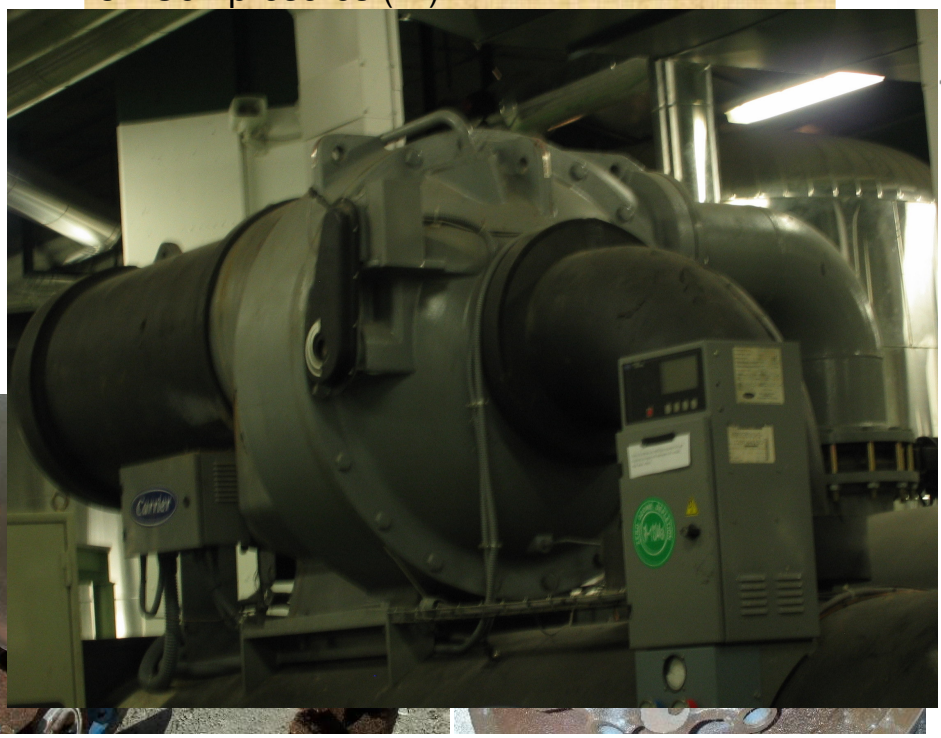
  - *Centrífugos:*
    Baja relación de compresión
    Grandes volúmenes

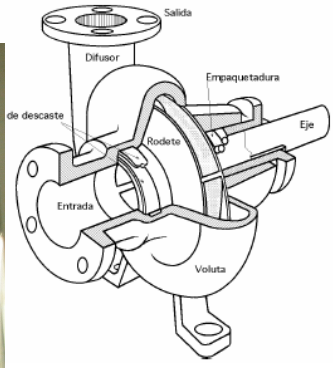




El Compresor Scroll

3.- Compresores (XI)





El Compresor Scroll

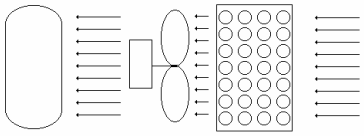
3.- Compresores (XII)

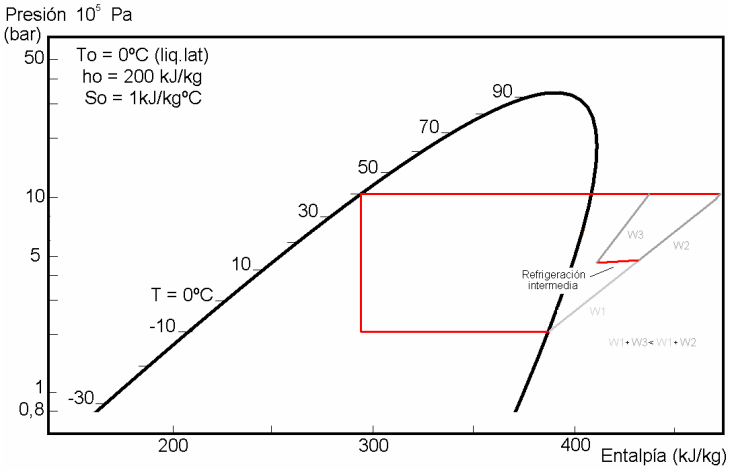
Elementos Auxiliares del Compresor (I)

La refrigeración del compresor

- Con la aspiración
- Dos etapas
- Refrigeración externa

$$p_{int} = \sqrt{p_{max} \times p_{min}}$$





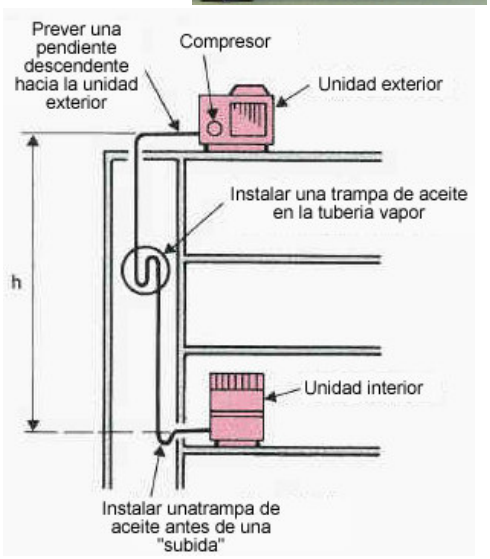
El Compresor Scroll

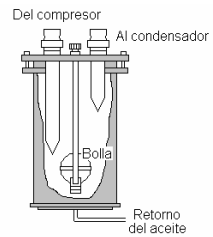
3.- Compresores (XIII)

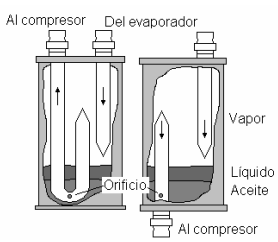
Elementos Auxiliares del Compresor (II)

La lubricación del compresor

- Carcasa es el cárter, visor
- Mezcla aceite-refrigerante
- η↓ al ↑T
- Resistencia eléctrica
- Pendientes descendentes
- Sifones
- Filtros y separadores
- Botella antigolpe de líquido
- Posición original







El Compresor Scroll

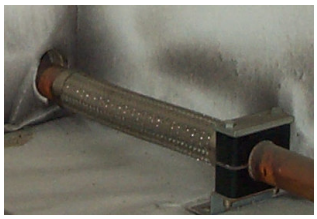
3.- Compresores (XIII)

Elementos Auxiliares del Compresor (III)

Vibraciones y ruidos

- Dispositivos internos
- Dispositivos externos

- Silenciadores
- Uniones flexibles
- Amortiguadores
- Bancadas



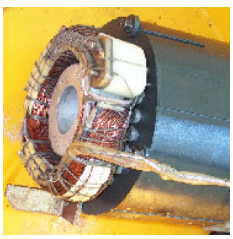
El Compresor Scroll

3.- Compresores (XIV)

Elementos Auxiliares del Compresor (IV)

Sistemas de seguridad

- Presostato de máxima
- Presostato de mínima
- Válvula de seguridad interna
- Válvula de seguridad externa
- Fusible (de presión)
- Presostato de aceite
- Nivel de aceite
- Protector térmico



Protecciones externas

3.- Compresores (XV)

Elementos Auxiliares del Compresor (V)

***Control de la capacidad del compresor* (I)**

(ajustar la producción del compresor a las necesidades)

Control todo-nada

Capacidad regulable: en escalones o en continuo

Utilidades:

Alimentar varias instalaciones

Cuando existen diferentes solicitaciones a lo largo del día

Facilitar la puesta en marcha al reducir la carga en el arranque

En los ***multicilíndrico*** se puede descargar uno o más cilindros, desplazando la válvula de aspiración

En los ***compresores de tornillo y los scroll***, la regulación en continuo, (10%-100%), variando el punto donde comienza la compresión

El Compresor Scroll

3.- Compresores (XVI)

Centrales de Compresores (I)

***Control de la capacidad del compresor* (II)**

- En continuo con un motor de velocidad variable
- En escalones con compresores en paralelo (tándem)

– Aumenta la fiabilidad.
– Disminuye la potencia instalada
– (factor simultaneidad)

Preferible combinar equipos de distintas capacidades (1-2-4-8, etc).

Hay que tener especial ***cuidado con el aceite de lubricación***, ya que ***el retorno*** no se reparte por igual, requiere de tubería de equilibrado

3.- Compresores (XVII)

Centrales de Compresores (II)

Selección del los compresores

Estudiar el número y tamaño idóneos de las unidades compresoras
(la parcialización de la carga de un compresor siempre supone pérdida de C.O.P)

Selección de ***equipos de alto rendimiento***, haciéndoles funcionar en su punto ***óptimo*** o próximo a este, estudiando las cargas parciales

Compresor	400 kW	250 kW	150 kW
Rendimiento nominal	73%	72%	71%
Rend. Al 60% de la carga	70%	69%	68%
Rend. Al 30% de la carga	68%	67%	66%

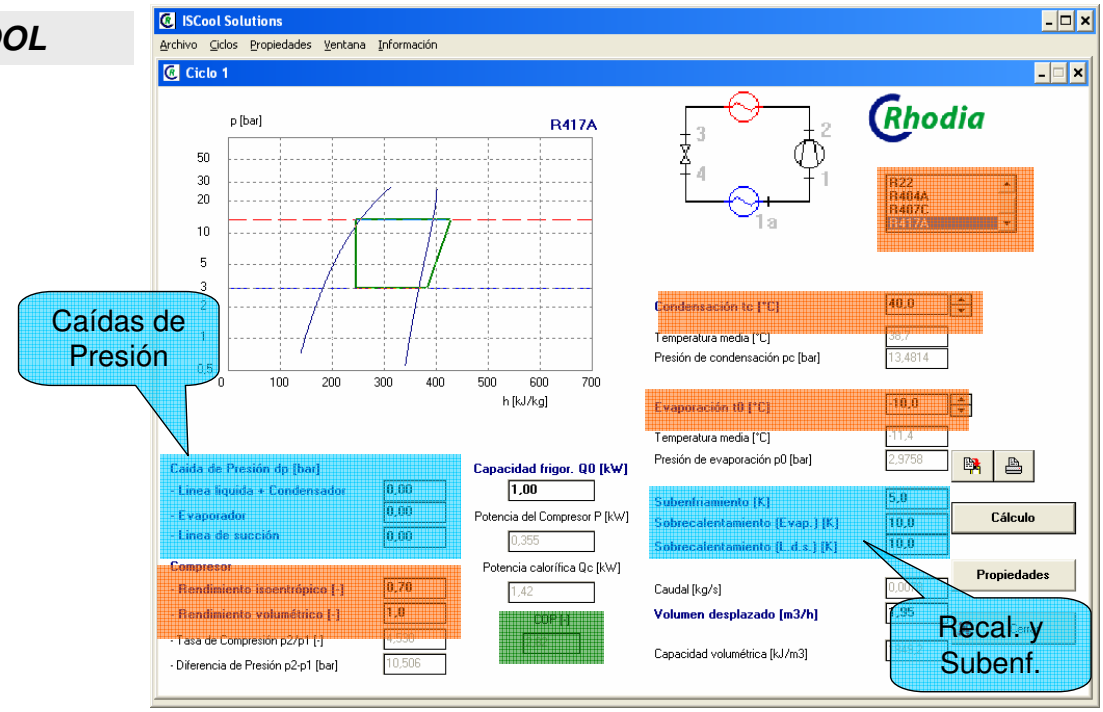
En ***cada régimen de trabajo*** estudiar ***la relación de compresión***. Cuanto menor sea más eficientemente es el sistema

La combinación de ***equipos de diferente tecnología*** puede producir unos rendimientos energéticos muy altos

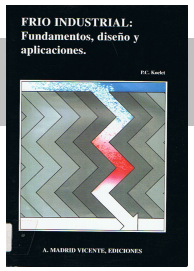
El Compresor Scroll

3.- Compresores (XVIII)

ISCOOL



El Compresor Scroll



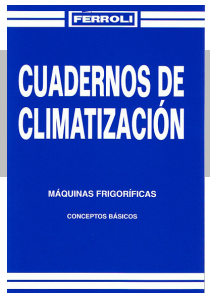
Frío Industrial
P. C. Koelet

Refrigeración Comercial
D Wirz

Tecnología de la Refrigeración y Aire Ac. (T II)
W.C. Whitman, W.M. Johnson

Manual Técnico Valycontrol
http://www.valycontrol.com.mx/literatura_mt.htm

El Compresor Scroll



Cuadernos de Climatización
Máquinas Frigoríficas
FERROLI

Revistas nacionales:
- **El Instalador**
- **Montajes e Instalaciones**

http://www.carel.com/
http://www.danfoss.com/spain
http://www.emersonclimate.com/

http://www.bitzer.com/
http://www.carlylecompressor.com/
http://www.emersonclimate.com/
http://www.tecumseh.com/homepage.htm

http://www.salvadorescoda.com/

El Compresor Scroll

4.- El Compresor Scroll (I)

Antecedentes

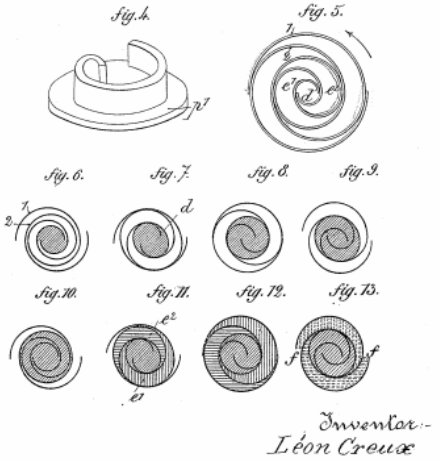
La primera ***patente*** está fechada en ***1905*** por ***Leon Creux***

La tecnología no permitía las tolerancias de mecanizado requeridas (<10 μm), y el concepto fue olvidado

A finales de 1973 *Artur D. Little*, junto con *Trane*, comenzó el desarrollo de un compresor tipo Scroll

El desarrollo continuó, en Japón y en Estados Unidos, comenzando a mediados de los años ochenta su introducción

Hoy en día son ampliamente utilizados por las grandes compañías como son *Trane*, *Hitachi*, o *Copeland*



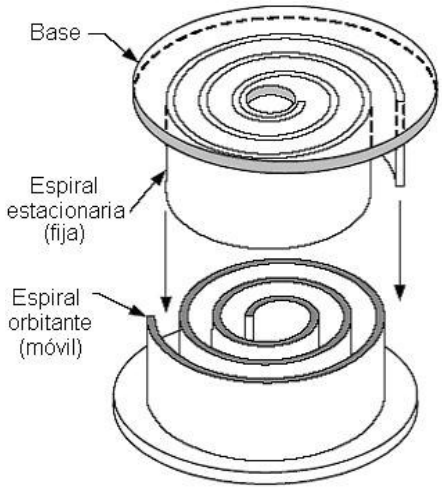
El Compresor Scroll

4.- El Compresor Scroll (II)

Descripción (I)

Es ***un rotor*** en forma de ***espiral, excéntrico*** respecto ***al árbol motor*** y que ***rueda*** sobre la superficie del ***estator***, que en lugar de ser circular también tiene forma de ***espiral***, en este caso concéntrica respecto al árbol motor

La espiral del rotor no gira solidariamente con éste, sino que se traslada con él de forma paralela a sí misma

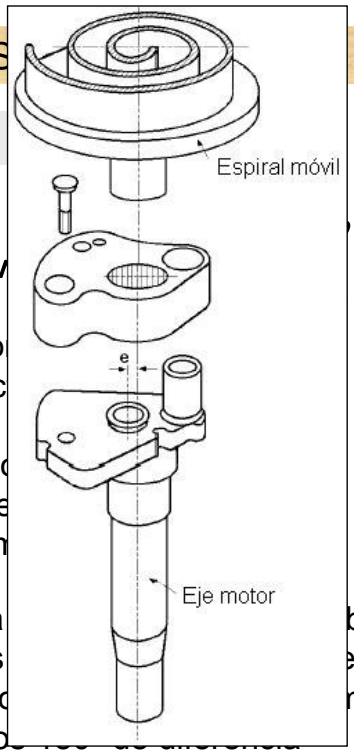


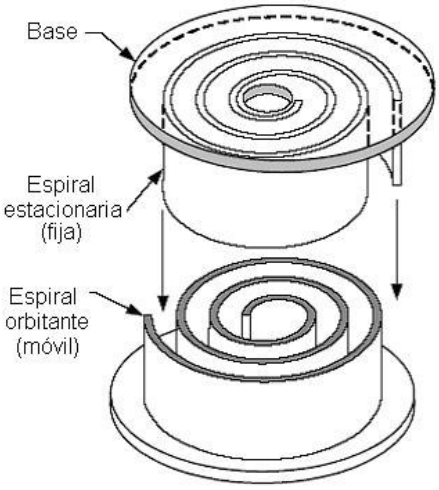
La espiral del rotor gira con un movimiento orbitante alrededor del centro del eje motor. Las espirales son idénticas y están ensambladas con una diferencia de fase de 180º. El movimiento tiene la misma amplitud que el motor y se mantiene siempre con los 180º de diferencia

El Compresor Scroll

4.- El Compresor S

Descripción (I)





Es *un rotor* en forma
respecto *al árbol motor*
superficie del *estator*,
circular también tiene fo
caso concéntrica respec

La espiral del rotor n
con éste, sino que se
forma paralela a sí mism

La espiral del rotor gira
bitante alrededor del centro del
eje motor. Las espirales
nsambladas con una diferencia
de fase de 180º. El mo
na amplitud que el motor y se
mantiene siempre con lo

El Compresor Scroll

4.- El Compresor Scroll (III)

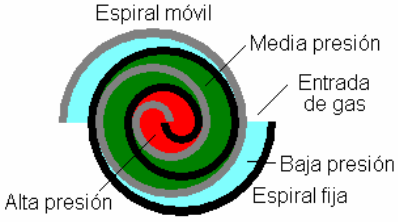
Descripción (II)

En cada posición del movimiento orbital las dos espirales entran en contacto en varios puntos formando una serie independiente de cámaras o “bolsillos” en forma de media luna

El giro del motor hace que los bolsillos se vayan trasladando de la periferia hacia el interior, lo que implica una disminución continua del volumen de estas cámaras a medida que se aproximan hacia el centro

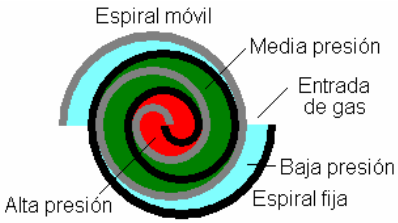
Los “bolsillos” sellados se definen exclusivamente por la geometría del Scroll y el movimiento orbital

Las espirales reducen el volumen y generar así una relación de compresión fijada por su geometría



4.- El Compresor Scroll (IV)

Descripción (III)



Existen parejas de bolsillos simétricos

La compresión termina cuando el gas es comprimido a su máxima presión en el centro, y es liberado a través de un puerto de descarga

En la descarga se juntan las porciones de gas que han sido aspiradas por uno y por otro lado de las espirales

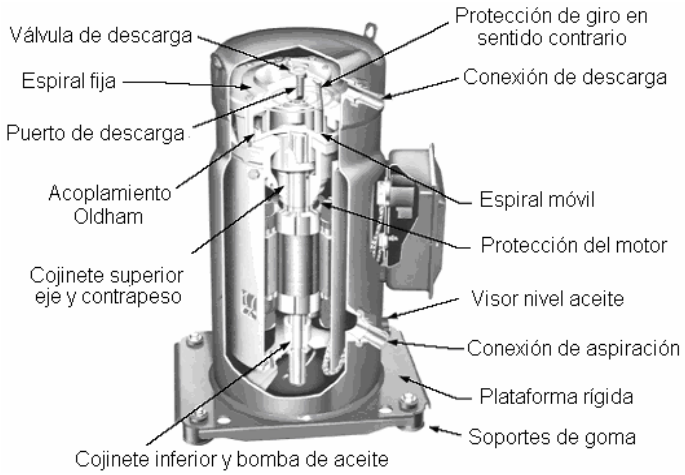
La duración de este proceso es de varias revoluciones, por lo que en todo momento existen dos cámaras opuestas del mismo tamaño, obteniéndose así un ciclo de compresión casi continuo que genera muy pocas vibraciones

El Compresor Scroll

4.- El Compresor Scroll (V)

Descripción (IV)

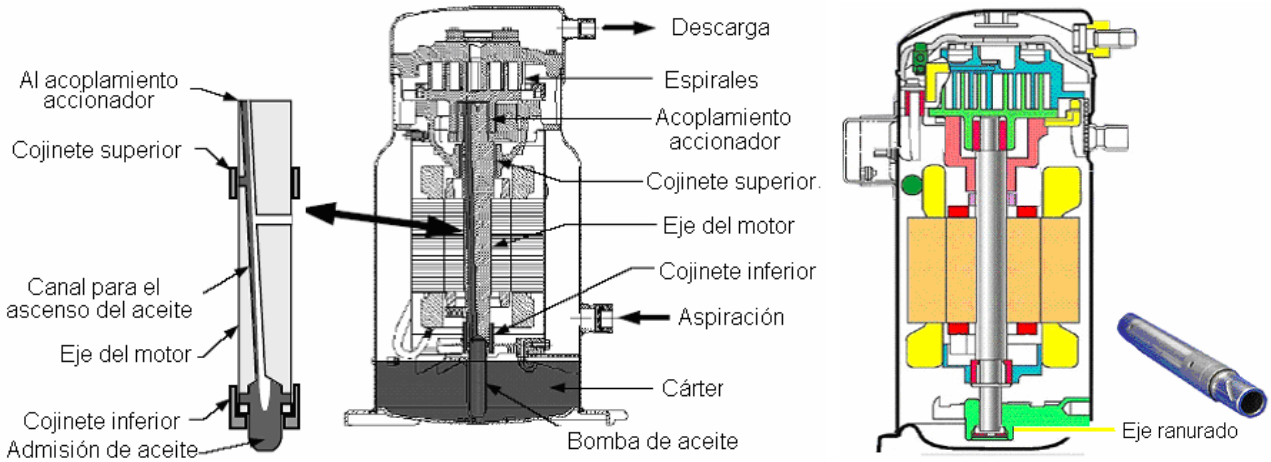
Originariamente la disposición típica era la vertical con el motor abajo, y la espiral fija en la parte superior. Actualmente también existe la horizontal



4.- El Compresor Scroll (VI)

Descripción (V)

La lubricación se realiza por medio de una bomba acoplada en el eje, o mediante el eje ranurado



El Compresor Scroll

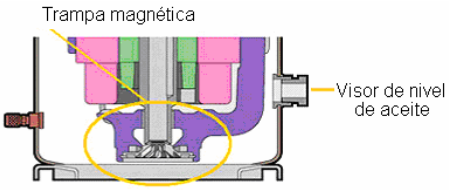
4.- El Compresor Scroll (VII)

Descripción (VI)

Visor del nivel de aceite

Filtro de malla

En el fondo puede tener una trampa magnética para retener las impurezas del aceite



En el cárter “se mezclan” aceite y refrigerante

El refrigerante líquido se evapora antes de entrar a la cámara de compresión

El Compresor Scroll

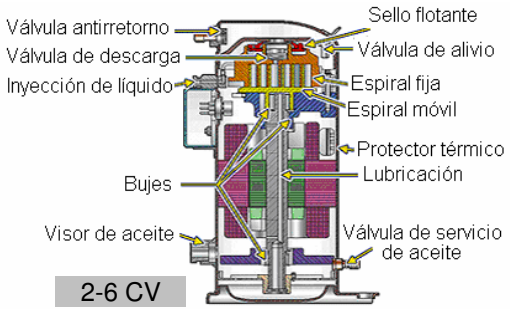
4.- El Compresor Scroll (VIII)

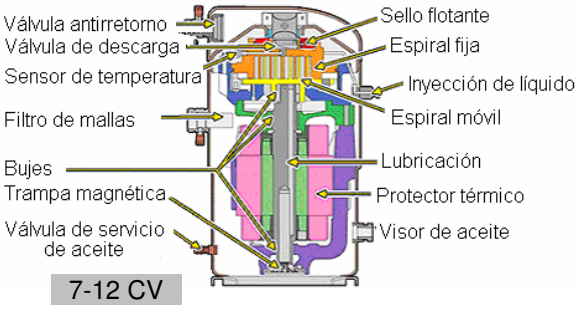
Descripción (VII)

Las espirales se realizan con tolerancias de 5 a 12 micras

El acabado superficial de las puntas tiene rugosidades inferiores a 0,4 micras

La capacidad depende de la altura de las espirales



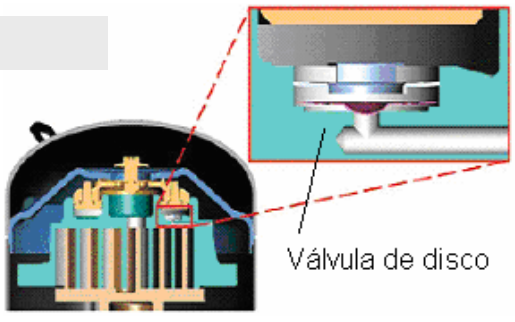


El Compresor Scroll

4.- El Compresor Scroll (IX)

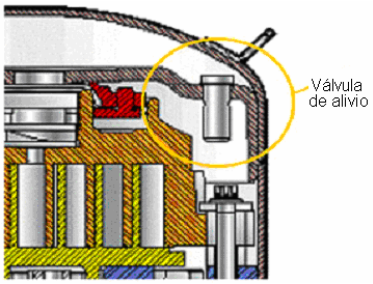
Descripción (VIII)

Protección frente a sobretemperaturas (descarga a la aspiración)



Válvula antiretorno (impide giro inverso)

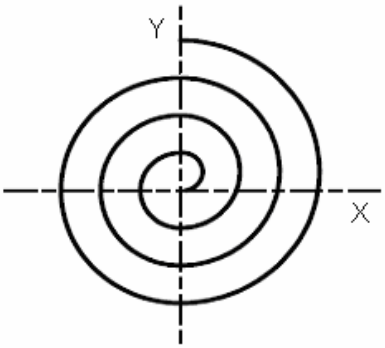
Válvula de alivio de presión (descarga a la succión)



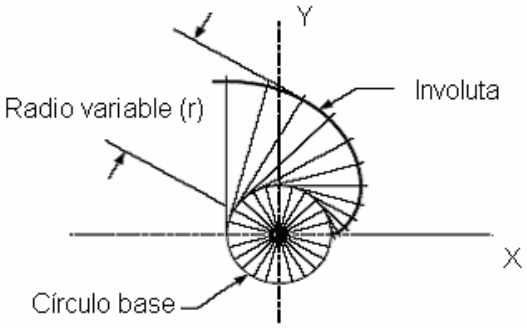
4.- El Compresor Scroll (XI)

Las Espirales (I)

Espiral simple: $r = a \cdot \theta$



Espiral involuta (scroll):
Radio medido desde el círculo
Permite la rodadura y no el deslizamiento



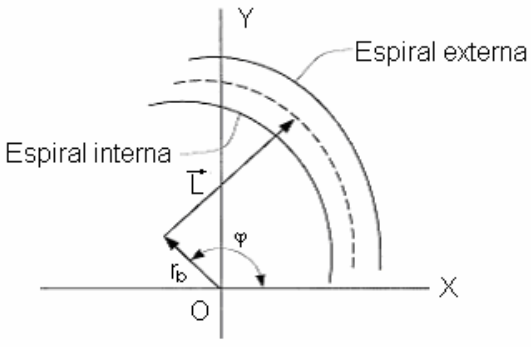
$$\frac{\partial L(\varphi)}{\partial \varphi} = r_b$$

El Compresor Scroll

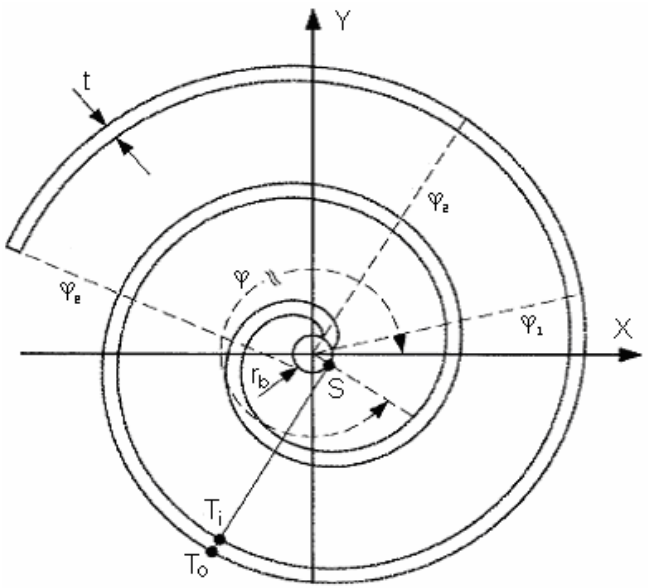
4.- El Compresor Scroll (XII)

Las Espirales (II)

Espirales interna y externa



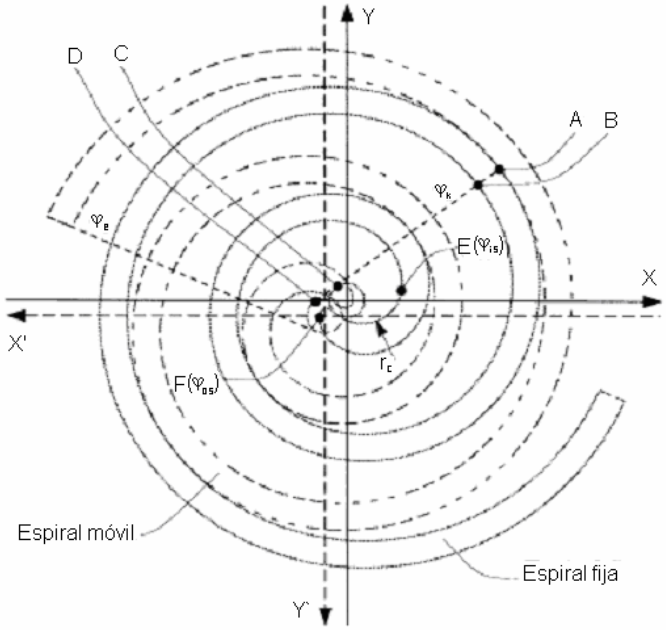
$$\begin{cases} L_i = r_b\,(\varphi - \varphi_{i0}) \\ L_o = r_b\,(\varphi - \varphi_{o0}) \end{cases}$$



4.- El Compresor Scroll (XIII)

Las Espirales (III)

Dos Espirales

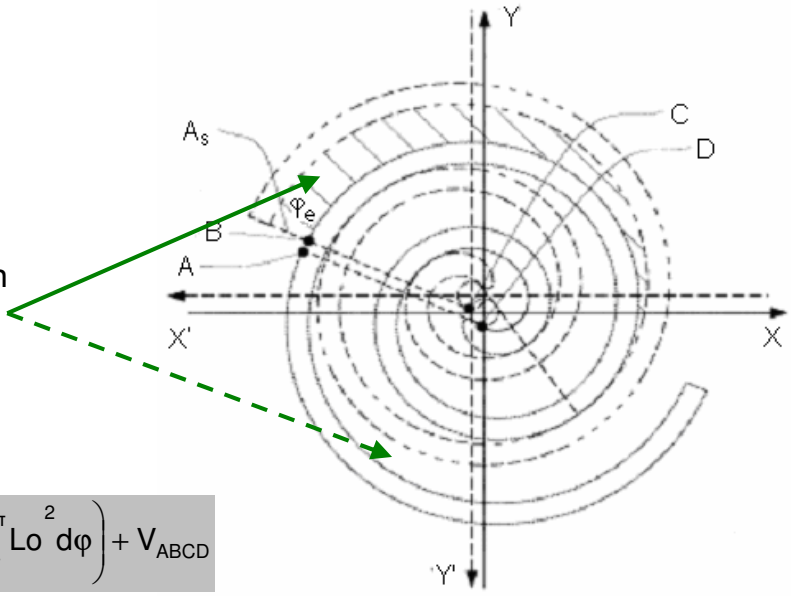


El Compresor Scroll

4.- El Compresor Scroll (XIV)

Area y Volumen (I)

Cámaras de succión formadas entre las dos espirales



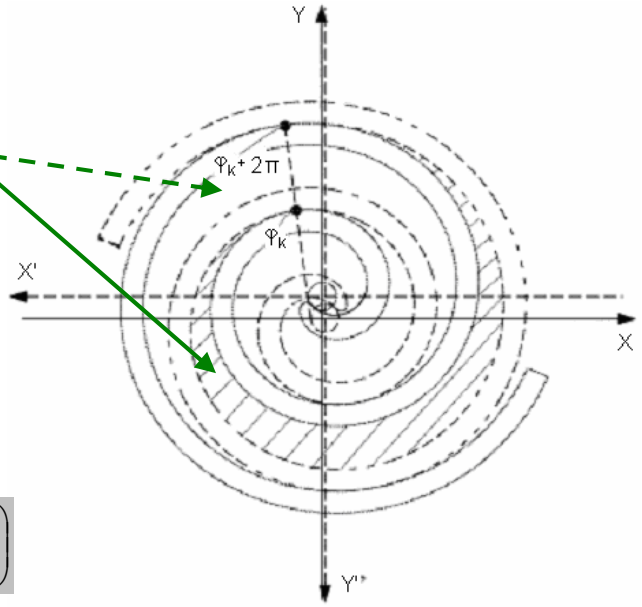
$$Vs = h\left(\frac{1}{2}\int_{\varphi k}^{\varphi e} Li^2\, d\varphi - \frac{1}{2}\int_{\varphi k-\pi}^{\varphi e-\pi} Lo^2\, d\varphi\right) + V_{ABCD}$$

El Compresor Scroll

4.- El Compresor Scroll (XV)

Area y Volumen (II)

Cámaras de compresión formadas entre las dos espirales



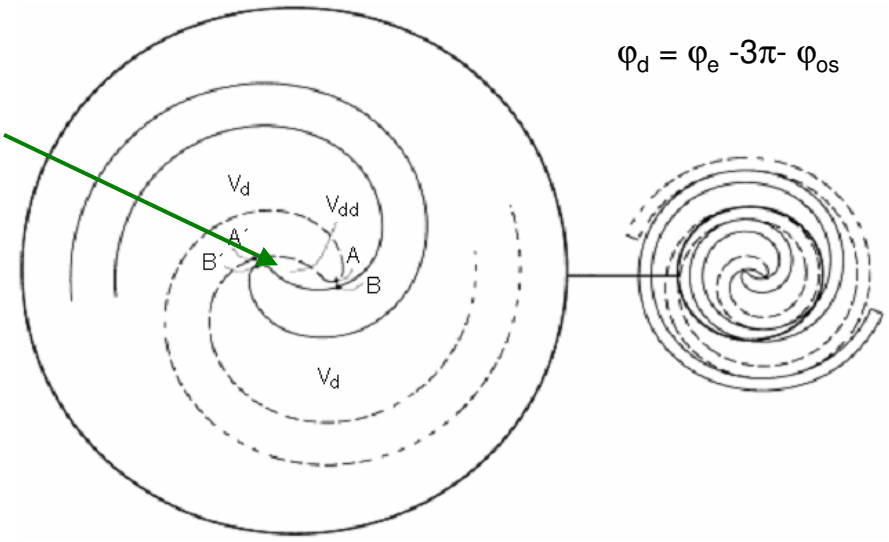
$$V_c = h\left(\frac{1}{2}\int_{\varphi k}^{\varphi k+2\pi} L_i^{\ 2}\, d\varphi - \frac{1}{2}\int_{\varphi k-\pi}^{\varphi k+\pi} L_o^{\ 2}\, d\varphi\right)$$

El Compresor Scroll

4.- El Compresor Scroll (XVI)

Area y Volumen (III)

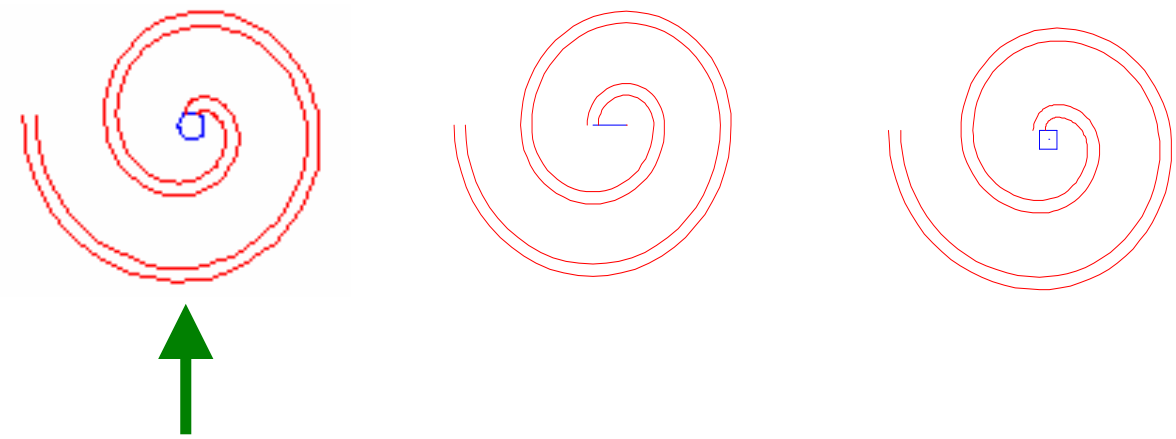
Cámara de descarga formada entre las dos espirales



$$\varphi_d = \varphi_e - 3\pi - \varphi_{os}$$

4.- El Compresor Scroll (XVII)

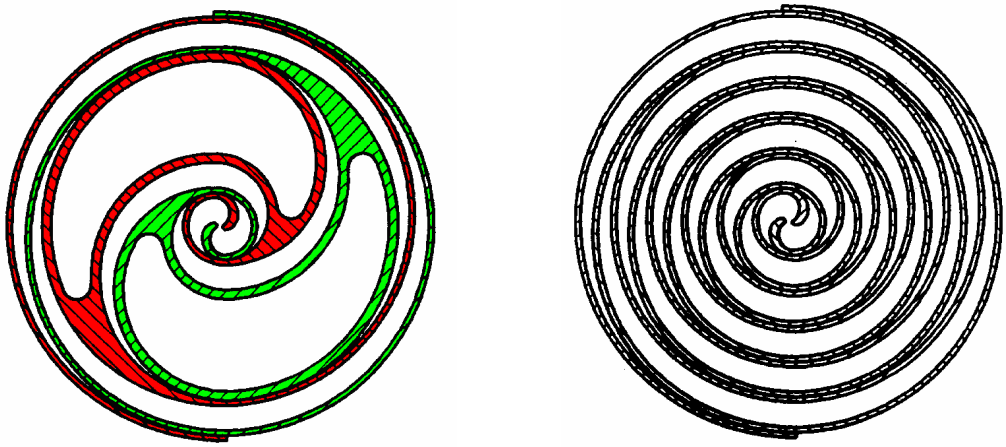
Geometría de la involuta



El Compresor Scroll

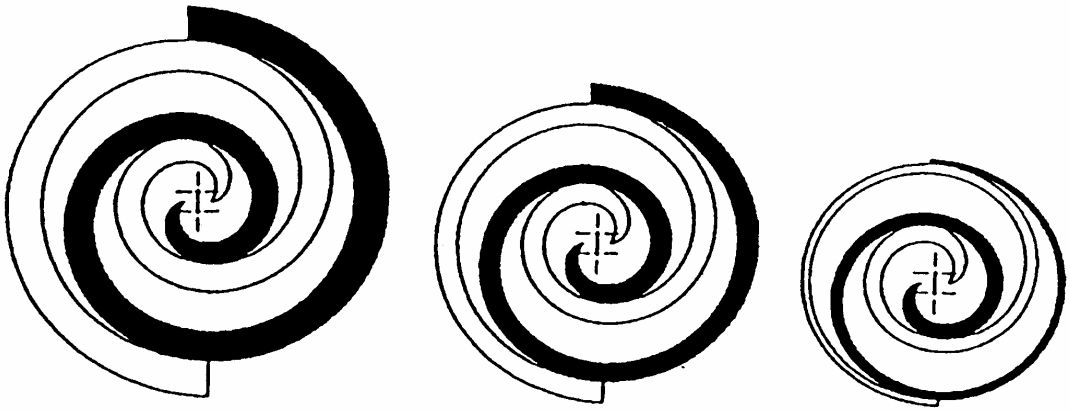
4.- El Compresor Scroll (XVIII)

***Perfil de la pared* (I)**



4.- El Compresor Scroll (XIX)

Perfil de la pared (II)



Espesor creciente desde el centro

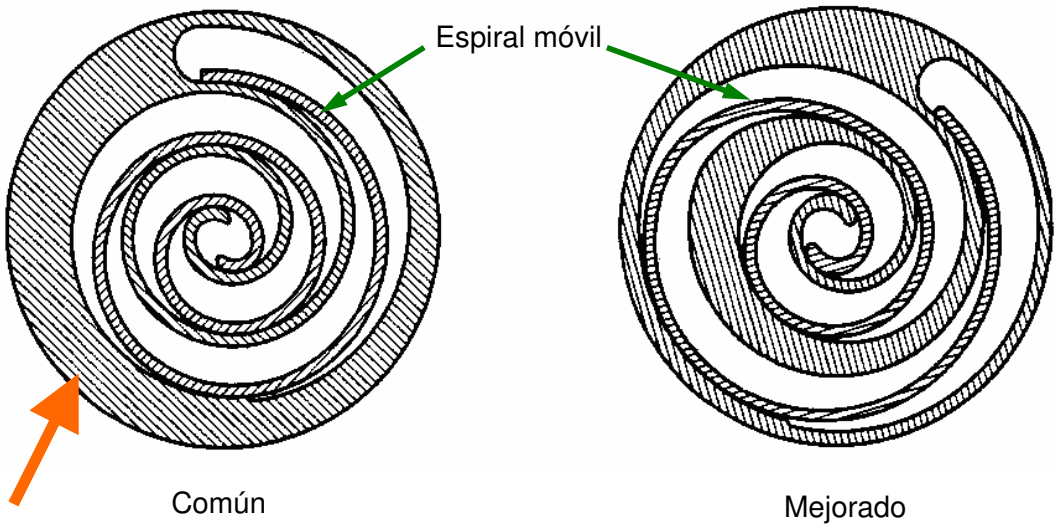
Espesor constante

Espesor decreciente

El Compresor Scroll

4.- El Compresor Scroll (XX)

Perfil de la pared (III)



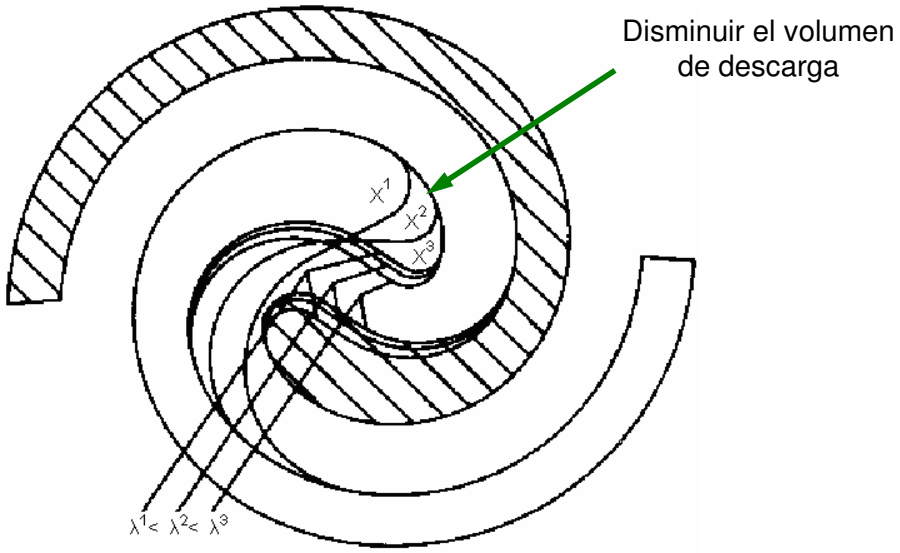
Común

Mejorado

El Compresor Scroll

4.- El Compresor Scroll (XXI)

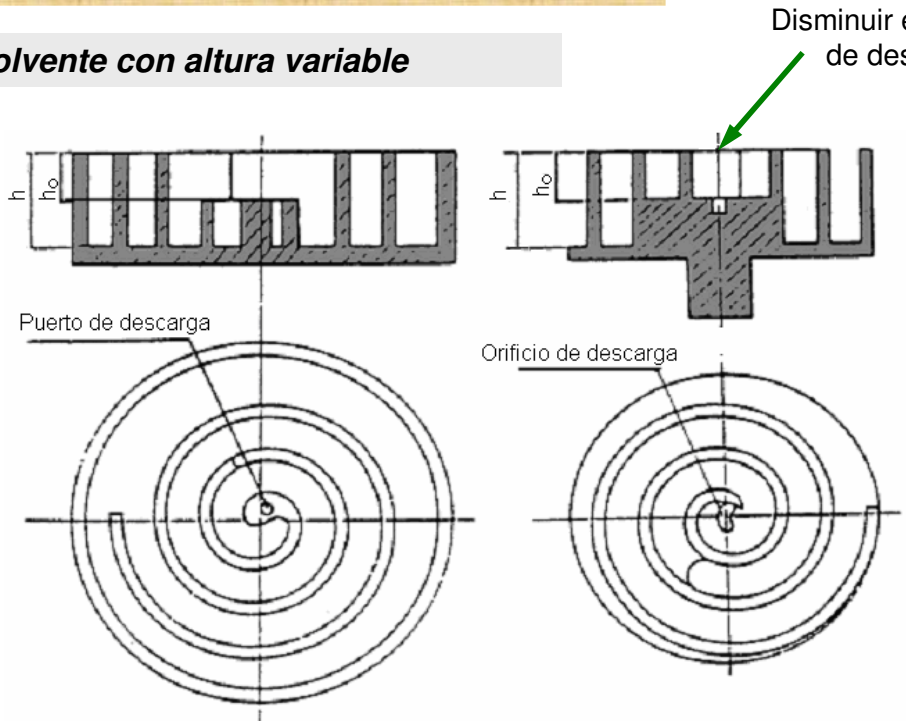
Geometría de Descarga



El Compresor Scroll

4.- El Compresor Scroll (XXII)

Envolvente con altura variable



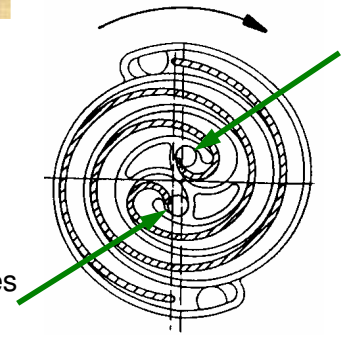
El Compresor Scroll

4.- El Compresor Scroll (XXIII)

Numero de vueltas

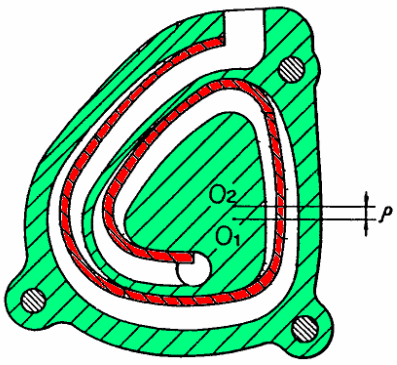
Precompresión

Dos puertos de descarga



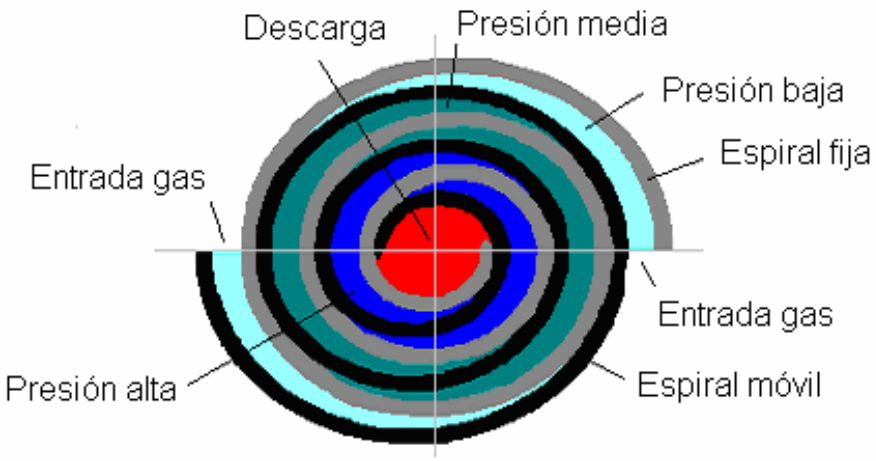
Con dos espirales móviles

Scroll triangular



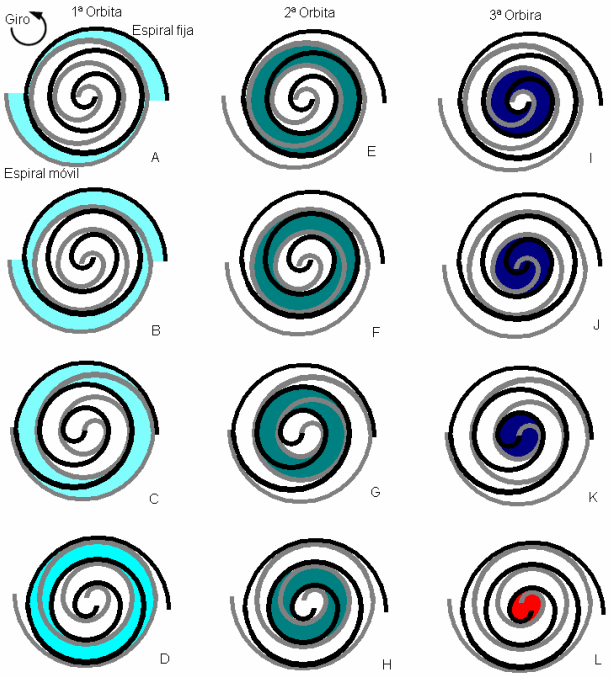
El Compresor Scroll

5.- Proceso de compresión del Scroll (I)



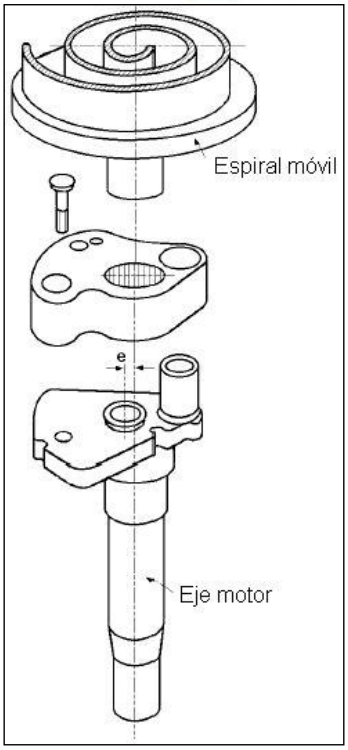
El Compresor Scroll

5.- Proceso de compresión del Scroll (II)



Giro
1ª Orbita
Espiral fija
2ª Orbita
3ª Orbira
Espiral móvil
A
E
I
B
F
J
C
G
K
D
H
L

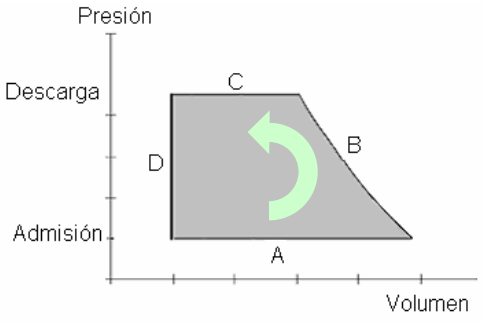
II

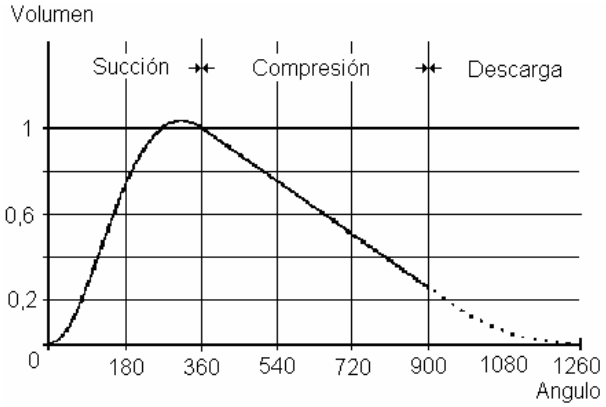


El Compresor Scroll

5.- Proceso de compresión del Scroll (III)

Volumen

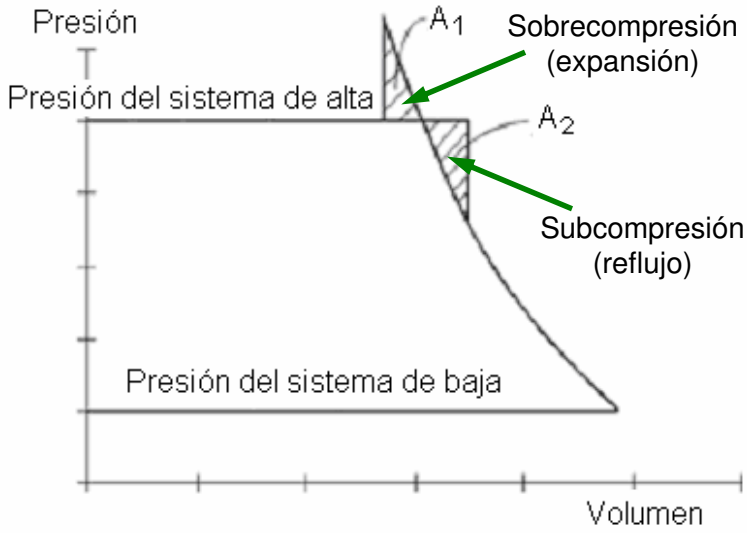




El Compresor Scroll

5.- Proceso de compresión del Scroll (IV)

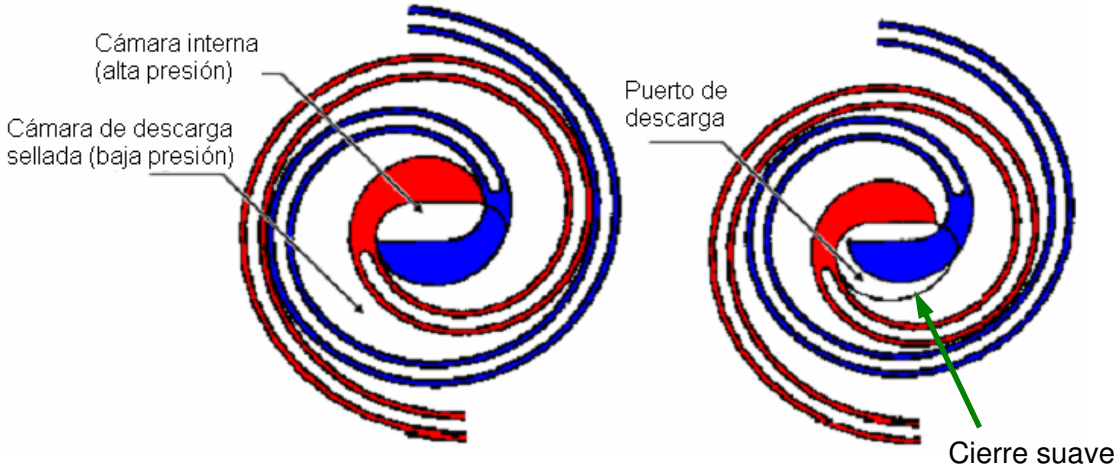
Sobrecompresión y subcompresión



5.- Proceso de compresión del Scroll (V)

Válvulas

- Evitar subcompresión
- Evitar giros inversos en parada



El Compresor Scroll

6.- Conformidad del Scroll (I)

Capacidad de desplazar las espirales radial o axialmente:

- la existencia de elevadas presiones
- la presencia de impurezas
- la existencia de refrigerante líquido en los bolsillos del compresor

Conformidad radial

Conformidad axial
Necesaria para permitir dilataciones

Orbita controlada
Mecanizado preciso, y sellado con aceite

El Compresor Scroll

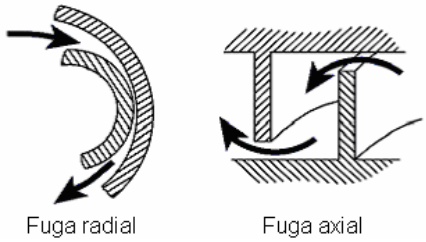
6.- Conformidad del Scroll (II)

Sellado (I)

El *sellado* para evitar las *fugas*

Las posibilidades de fugas son tanto radiales como axiales (más críticas)

Compatible con la conformidad



Sellado radial: en los ptos de contacto entre las espirales, el sello se produce por la fuerza centrífuga

- Conforme
- Orbita controlada

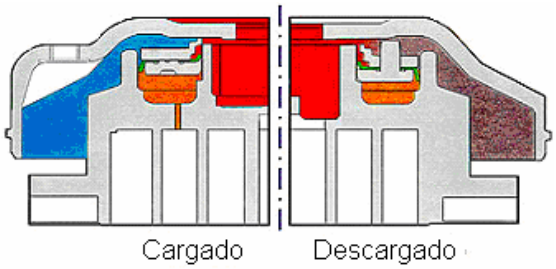
El Compresor Scroll

6.- Conformidad del Scroll (III)

Sellado (II)

Sellado axial: necesario para permitir dilataciones

- Sello flotante (cámara en presión)



La presión la toma de un bolsillo intermedio
Está descargado en el arranque

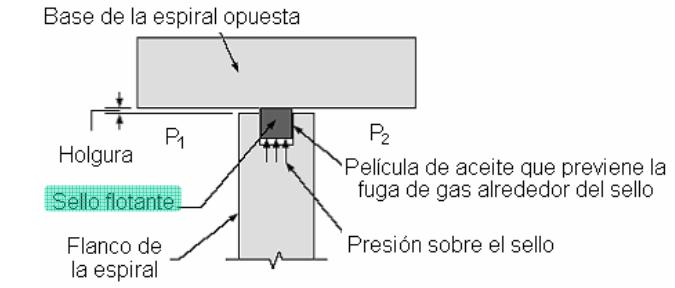
- Sello en ranura (segmentos)

El Compresor Scroll

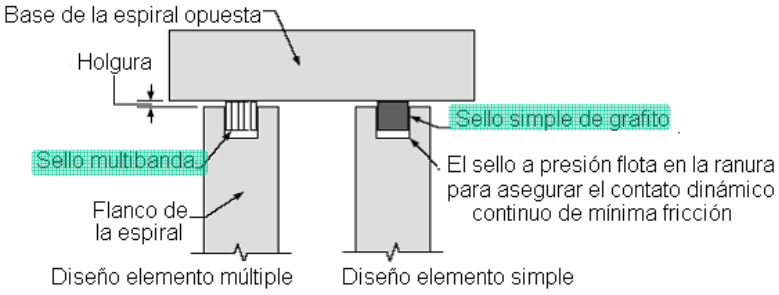
6.- Conformidad del Scroll (IV)

Sellado (III)

Conformidad axial
Sello en la ranura



Conformidad axial
Sello flotante
(órbita controlada)

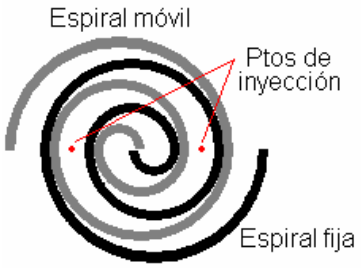


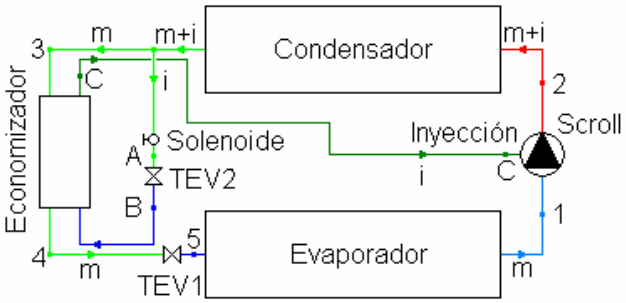
El Compresor Scroll

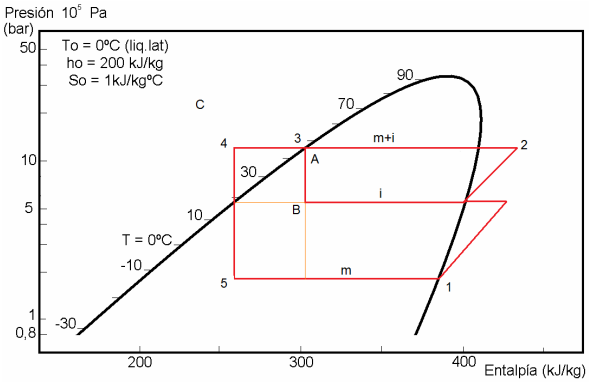
7.- Inyección de Refrigerante (I)

Inyección de vapor (I)

- Permite trabajar a T_{eva} inferiores
- Aumenta la capacidad frigorífica
- Aumenta el COP
- Reduce tamaño instalación
- Disminuye ruido



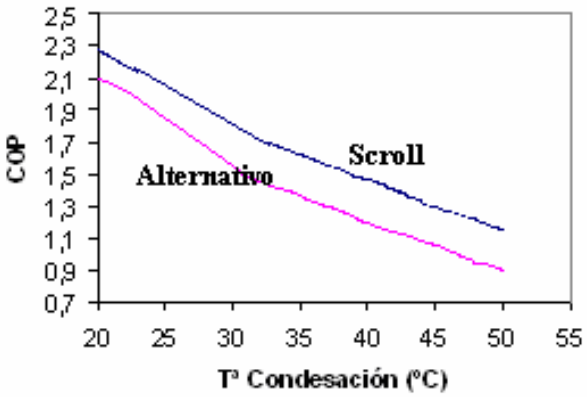




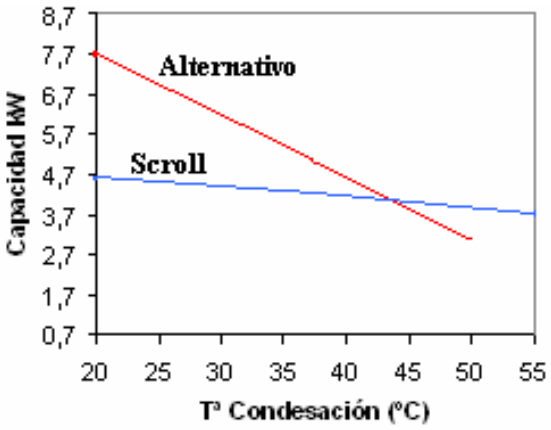
El Compresor Scroll

7.- Inyección de Refrigerante (II)

Inyección de vapor (II)



Las mejoras son mayores al aumentar la relación de presiones



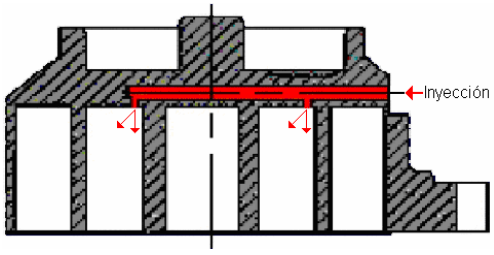
La capacidad es estable, en verano no se reduce por aumentar la T_{con}

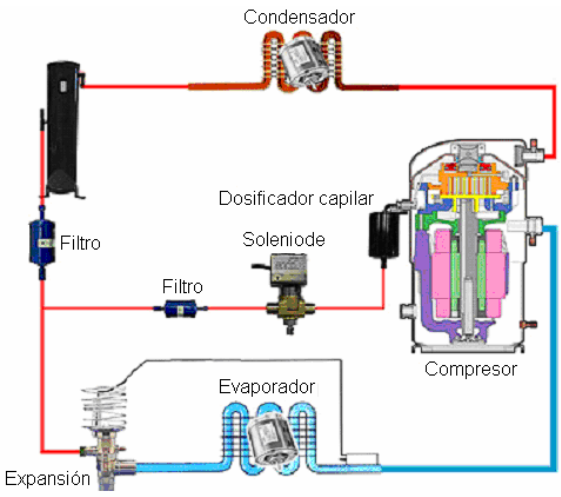
El Compresor Scroll

7.- Inyección de Refrigerante (III)

Inyección de líquido (I)

Interesante con altas T descarga





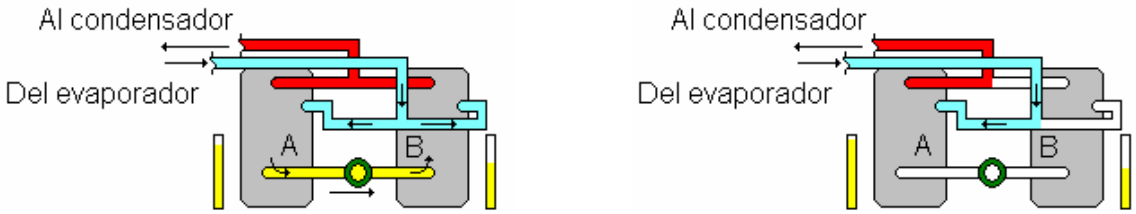
El Compresor Scroll

8.- Regulación del Compresor Scroll (I)

Velocidad variable

Requiere modificaciones para asegurar tanto el sellado como la lubricación

Compresores en paralelo



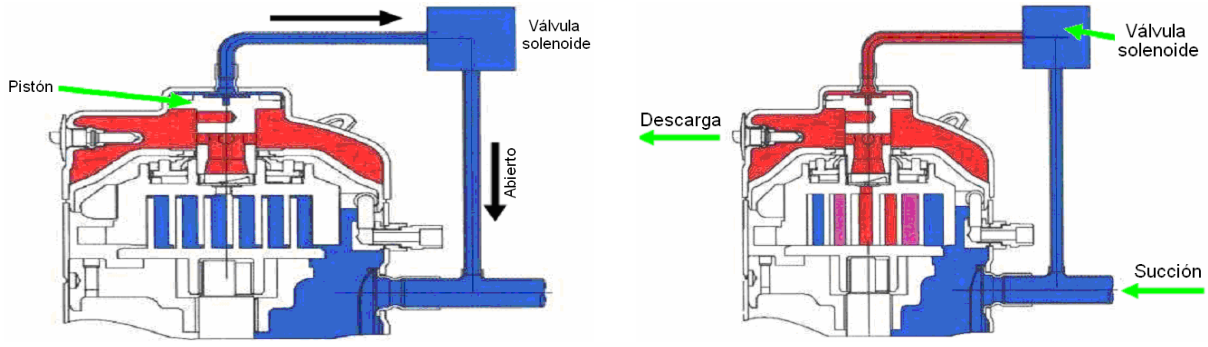
Inyección de líquido

El Compresor Scroll

8.- Regulación del Compresor Scroll (II)

Modulación mecánica

Separando axialmente la espiral fija y la orbitante

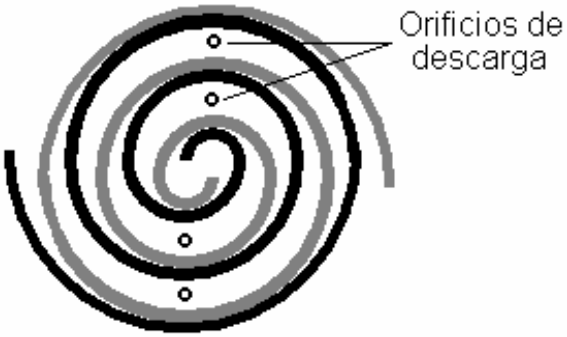


Succión variable

8.- Regulación del Compresor Scroll (III)

Succión variable

Bypases hacia la succión controlados por solenoides



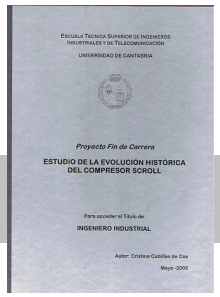
El Compresor Scroll

Concept Study of the Scroll Compressor
J. Munch Jensen, enero 1999

Concept Study of the Scroll Compressor

by

Jakob Munch Jensen
Energy Engineering
Department of Mechanical Engineering
Technical University of Denmark


Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación
Universidad de Cantabria

Proyecto Fin de Carrera

ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL COMPRESOR SCROLL

Para acceder al Título de
INGENIERO INDUSTRIAL

Autor: Cristina Cubillas de Cos
Mayo -2005

Estudio de la Evolución Histórica del Compresor Scroll
***C. Cubillas de Cos*, mayo 2005**