

COMPRESORES "SCROLL"



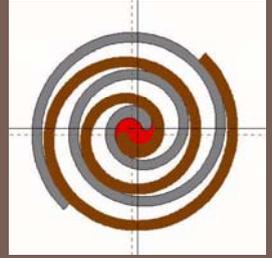
E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL"

Principio

Pag. 2

- Un compresor scroll es un dispositivo de desplazamiento positivo que comprime mediante la acción de dos "espirales", una fija y otra que orbita sobre la primera.

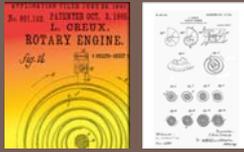


E. TORRELLA

ANTECEDENTES

Pag. 3

- Como en el caso de los compresores de tornillo, la utilización de los compresores "scroll", en el campo de acondicionamiento de aire, es muy posterior a su invención, la cual se inicia en 1905 por Léon Creux.
- No es hasta finales de los años 80 que aparecen los primeros equipos en este campo.



E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL"

Evolución

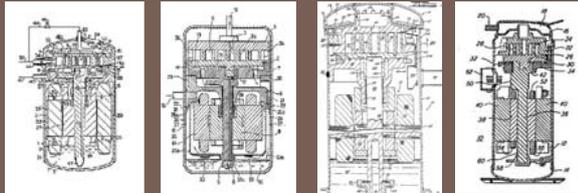
Pag. 4

- En 1972 el físico Niels Young retoma el concepto del Scroll, propone la idea a Arthur D. Little, en Cambridge, Massachusetts, y su empresa se convierte en la primera compañía en aplicar la tecnología del Scroll a compresores de aire acondicionado, y así en 1973 se desarrolla un modelo viable.
- A finales de 1973 la empresa Arthur D. Little, y la compañía Trane, comenzaron el desarrollo del compresor Scroll para refrigeración, llegando a usar finalmente esta tecnología en sus productos. Su desarrollo continuó, sobre todo en Japón y en Estados Unidos, comenzando a mediados de la década de los 80 su introducción en otros sectores como el de la automoción. Hitachi y Mitsui Seiki en Japón introdujeron los compresores Scroll para aire acondicionado lubricados con aceite, aunque estas unidades eran simples adaptaciones de sus compresores de refrigeración.
- Aunque los compresores Scroll se han desarrollado para la industria de la refrigeración convencional, se han encontrado otros campos de aplicación, como la medicina, donde debido a su reducido nivel de ruido y no tener problemas de mantenimiento, los compresores Scroll sin aceite se han instalado en máquinas de diálisis, ventiladores y nebulizadores.
- Hoy en día los compresores Scroll se utilizan por la mayor parte de las grandes compañías de refrigeración y climatización.
- De diseño simple con 70% menos de partes móviles, ya que sólo dos partes están involucradas en el trabajo de la compresión, frente a las, al menos, 9 por cilindro que requiere una tecnología a pistón convencional. Menor peso y tamaño que cualquier otra tecnología a pistón de capacidad equivalente, más silencioso y exento de vibraciones que cualquier otra tecnología a pistón.

E. TORRELLA

EQUIPOS ANTERIORES A 1990

Pag. 5



Hitachi

Mitsubishi

Copeland

Carrier

E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL" Funcionamiento

Pag. 6

- El principio básico de compresión Scroll se basa en la interacción de una espiral fija con otra móvil, ambas idénticas y desfasadas entre sí 180°. La espiral móvil orbita, siguiendo la trayectoria fijada por la espiral fija y se mantiene unida a esta última gracias a la acción de la fuerza centrífuga. Así es como, desde la periferia, se van formando compartimentos de gas que son desplazados hacia el centro de las espirales, contrayéndose su volumen y aumentando la presión y temperatura, hasta producirse la descarga por el centro. Habrá seis compartimientos operando permanentemente, por lo que la compresión es siempre continua y uniforme.
 - El movimiento orbital que describe la espiral móvil es circular, tiene la misma amplitud que el motor y se mantiene siempre con 180° de diferencia de fase valiéndose de un dispositivo antirrotación, que se conoce como acoplamiento Oldham; la magnitud de este movimiento orbital depende del radio del círculo base y del espesor de la pared de las espirales.
 - Cuando está en funcionamiento, en cada posición del movimiento orbital las dos espirales entran en contacto en varios puntos, formando una serie de cámaras o celdas (normalmente 6) en forma de media luna, independientes. El giro del motor hace que las celdas se vayan trasladando de la periferia hacia el interior de las espirales, progresivamente, lo que implica una disminución continua del volumen de estas cámaras a medida que se aproximan hacia el centro de las espirales. En este tipo de compresores, las celdas o cámaras de compresión de geometría variable (en forma de hoz) están generadas por dos espirales idénticas:
 - La superior es fija (estator), en cuyo centro está situada la lumbrera de escape
 - La otra es orbitante (rotor)
- Estando montadas ambas frente a frente, en contacto directo una con la otra.

E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL" Funcionamiento (Cont)

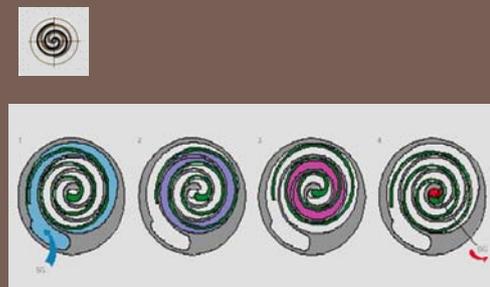
Pag. 7

- Las espirales fija y móvil, cuyas geometrías, como sabemos, se mantienen en todo instante desfasadas un ángulo de 180°, merced a un dispositivo antirrotación, están encajadas una dentro de la otra de modo que entre sus ejes hay una excentricidad e , para conseguir un movimiento orbital del eje de la espiral móvil alrededor del de la espiral fija de radio e .
- Durante cada revolución del motor, la masa de gas inicial se mueve hacia el centro por el movimiento giratorio, y su volumen se reduce significativamente a medida que la celda que lo contiene se va desplazando hacia el interior de las espirales.
- El proceso de compresión se inicia en dos celdas, de forma que cada una se corresponde con el extremo exterior de una de las dos espirales, existiendo pares de celdas simétricas. La compresión termina cuando el gas es comprimido a la máxima presión y escapa a través de un puerto de descarga localizado en la celda más profunda; 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 celdas opuestas del mismo tamaño, obteniéndose así un ciclo de compresión casi continuo que genera muy pocas vibraciones.
- Fijándose exclusivamente en el conjunto (árbol motor-rotor), con cada giro de 360° del árbol motor, se imprime a la espiral inscrita en el plato, rotor excéntrico, los dos movimientos siguientes:
 - Uno de rotación de 360° alrededor de su eje, (que tendría lugar igualmente si el valor de e fuera nulo)
 - Otro simultáneo de traslación, paralela a sí misma, alrededor del eje del árbol motor (que no se produciría si el valor de e fuese nulo).

E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL" Fases de funcionamiento

Pag. 8



E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL"

Fases

Pag. 9

- El funcionamiento se puede descomponer en las tres fases siguientes:
- **Aspiración:** En la primera órbita, 360º en la parte exterior de las espirales se forman y llenan completamente de vapor a la presión p1, dos celdas de volumen V1
- **Compresión:** En la segunda órbita, 360º, tiene lugar la compresión a medida que dichas celdas disminuyen de volumen y se acercan hacia el centro de la espiral fija, alcanzándose al final de la segunda órbita, cuando su volumen es V2, la presión de escape p2.
- **Descarga:** En la tercera y última órbita, puestas ambas celdas en comunicación con la lumbrera de escape, tiene lugar la descarga (escape) a través de ella.
- Cada uno de los tres pares de celdas, estarán en cada instante en alguna de las fases descritas, lo que origina un proceso en el que la aspiración, compresión y descarga tienen lugar simultáneamente y en secuencia continua, eliminándose por esta razón las pulsaciones casi por completo.

Primera vuelta: Aspiración
Segunda vuelta: Compresión
Última vuelta: Descarga

E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL"

Pag. 10

- La espiral móvil no gira alrededor de su eje, sino que realiza un movimiento circular según una órbita de pequeño radio de giro, de tal manera que cada punto del flanco del rotor describe un círculo que le pone en contacto fugaz con el punto correspondiente al estator.

E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL"

Pag. 11

1ª vuelta

- Primera vuelta; durante el desplazamiento de la espiral inferior se forman dos bolsas de vapor

E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL"

Pag. 12

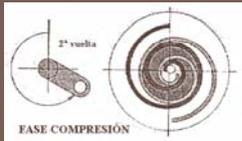
Fin 1ª vuelta
FINAL ASPIRACIÓN

- Al final de la primera vuelta, se cierran las bolsas de vapor, aprisionando el fluido contenido en ellas.

E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL"

Pag. 13



- Segunda vuelta; el movimiento de la espiral obliga al trasiego del vapor hacia la zona central.

E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL"

Pag. 14



- Al final de la segunda vuelta el volumen disponible es mínimo, alcanzando el máximo de compresión

E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL"

Pag. 15



- Tercera vuelta; los vapores comprimidos son expulsados.

E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL"

Pag. 16



- La descarga se realiza a través de un orificio situado en el centro de la espiral fija.

E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL" Variación de presión y volumen

Pag. 17

- En cada órbita comienza un nuevo ciclo de compresión, de modo que en todo momento hay tres pares de celdas simétricas en forma de media luna, cada par con baja, media y alta presión. El proceso de la compresión es suave y continuo sin vibraciones o pulsaciones fuertes.
- Se representa el diagrama (p-v) del funcionamiento de un Scroll en condiciones normales; un determinado volumen de gas llena las cámaras (A); el movimiento de la espiral comprime el gas (B), y éste, comprimido, se evacúa en la fase de descarga (C, D).

E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL" Simultaneidad de fases

Pag. 18

- Como toma varias revoluciones completar este proceso, en realidad existe un proceso continuo de compresión durante la operación. Las fases se producen conjuntamente, logrando una continuidad en el flujo de vapor.

E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL" Vista interna. Espirales

Pag. 19

E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL" Componentes

Pag. 20

E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL"
Válvula dinámica de descarga

Pag. 21

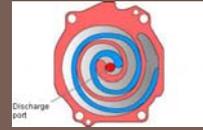
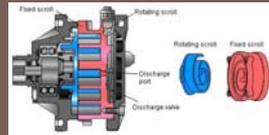
En compresores Scroll para refrigeración, y para permitir que el gas alcance la presión deseada en el momento de la descarga, se emplean válvulas dinámicas de descarga, lo que mejora considerablemente la eficiencia del compresor, especialmente cuando se requieren elevadas relaciones de compresión.



E. TORRELLA

COMPRESOR "SCROLL"
"Válvula descarga"

Pag. 22



E. TORRELLA

COMPRESORES "SCROLL"
Vistas

Pag. 23



E. TORRELLA

Prototype ammonia scroll compressor
(Mayekawa Mfg. Co.).

Pag. 24



E. TORRELLA

COMPRESORES "SCROLL" Estanqueidad

Pag. 25

- Para conseguir la estanqueidad suelen llevar mecanizada en el borde superior de ambas espirales una ranura que cumple el mismo cometido de sellado que los segmentos en los pistones de los compresores alternativos. Si entre ambos lados de la ranura (dos celdas en diferentes estadios de compresión) existe una diferencia de presiones Δp , el caudal de fluido (vapor o gas) que se filtrará de una celda a la otra, disminuyendo el rendimiento volumétrico del compresor, será tanto menor cuanto mayor sea la resistencia que se oponga a dicho flujo.
- Esta resistencia, que es función de la holgura existente entre las superficies en contacto de ambas espirales, se aumenta practicando la ranura antes mencionada, que recibe el nombre de *cámara de alivio*. Su misión es originar un ensanchamiento brusco seguido de una contracción de la vena fluida, dos resistencias adicionales que no se presentarían de no existir dicha acanaladura. La diferencia de presiones Δp entre dos cámaras de compresión adyacentes, es siempre menor que la $(p_c - p_e)$ generada por el compresor, lo que evidentemente disminuye todavía más el riesgo de fugas y filtraciones.
- Para conseguir la estanqueidad suelen llevar mecanizada en el borde superior de ambas espirales una ranura que cumple el mismo cometido de sellado que los segmentos en los pistones de los compresores alternativos. Si entre ambos lados de la ranura (dos celdas en diferentes estadios de compresión) existe una diferencia de presiones Δp , el caudal de fluido (vapor o gas) que se filtrará de una celda a la otra, disminuyendo el rendimiento volumétrico del compresor, será tanto menor cuanto mayor sea la resistencia que se oponga a dicho flujo.

E. TORRELLA

COMPRESORES "SCROLL" Estanqueidad

Pag. 26

Los diagramas muestran: 1) Fuga radial: una espiral con una ranura superior y flechas que indican el escape de fluido hacia el exterior. 2) Fuga axial: una sección transversal de la cámara de alivio con flechas que indican el escape de fluido a lo largo del eje. 3) Estanqueidad radial (Desplazamiento): una espiral con flechas que indican el escape de fluido a través de los espacios entre las espirales. 4) Sección detallada de la cámara de alivio con etiquetas: 'Sellos Flotante', 'Espirales Superior (Fija)' y 'Espirales Inferior'.

E. TORRELLA

COMPRESORES "SCROLL" Estanqueidad axial

Pag. 27

Las fuerzas axiales de compresión tienden a separar las espirales.

E. TORRELLA

COMPRESORES "SCROLL" Estanqueidad radial

Pag. 28

Es necesario asegurar la estanqueidad entre los flancos de las espirales.

E. TORRELLA

COMPRESORES "SCROLL"

Ventajas

Pag. 29

- Simetría; el movimiento de la espiral móvil origina dos espacios simétricos de oclusión de vapor (en su movimiento se produce una progresión entre ambos). La aspiración se produce en dos puntos diametralmente opuestos, mientras que la descarga es común. Asegurando un movimiento exento de pulsaciones y ruidos y un par resistente muy equilibrado.
- Como en los compresores de tornillo carece de válvulas y espacio muerto, por lo que el rendimiento volumétrico es próximo a las unidad.
- Con tasas de compresión del orden de 2,5 a 3,5 (Aire Acondicionado) se tienen prestaciones mejores que con alternativos; por encima de tasas de "5" se igualan.

E. TORRELLA

COMPRESORES "SCROLL"

Inconvenientes

Pag. 30

- Como en los compresores de tornillo existe un dependencia estricta entre la relación de volúmenes (o tasa de compresión) y el rendimiento indicado.
- La regulación a carga parcial debe realizarse sobre el régimen de giro (variadores de frecuencia).
- Presenta problemas de estanqueidad, y es necesario impedir la antirotación de la espiral móvil durante el funcionamiento.

E. TORRELLA

COMPRESORES "SCROLL"

Rendimientos

Pag. 31



E. TORRELLA

COMPRESORES "SCROLL"

Regulación carga parcial

Pag. 32

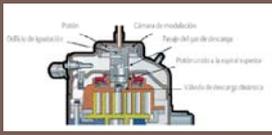
- La carga térmica de una instalación suele ser variable, especialmente en los sistemas de aire acondicionado, por lo que para asegurar y mejorar su correcto funcionamiento se debe ajustar la producción del compresor a la demanda térmica.
- Hay diversas maneras de conseguir una regulación de la capacidad del compresor Scroll, como:
 - *Accionamiento por motores de velocidad variable*
 - *Asociación de compresores en paralelo*
 - *Inyección de vapor o de líquido*
 - *La modulación mecánica*
 - *La succión variable*

E. TORRELLA

COMPRESORES "SCROLL" Copeland Regulación en carga parcial

Pag. 33

- La regulación del compresor Copeland Scroll Digital™ no realiza sobre un variador electrónico de frecuencias (inverter), sino por poseer un sistema electrónico más simple. En función de la demanda de frío, el sistema electrónico detectará una variación de la presión de evaporación y la traducirá en ciclos de apertura y cierre de una electroválvula exterior al compresor.
- En función de su posición, esta electroválvula provocará la separación o la unión de la espiral móvil con la espiral fija. Estos ciclos on/off permiten, así pues, garantizar, en un lapso de tiempo, una variación lineal de la potencia frigorífica entre el 10 y el 100% del compresor.
- El lapso de tiempo de apertura o cierre de la electroválvula de variación de potencia es uno de los factores del consumo de energía del compresor. Cuando éste funciona en vacío (electroválvula abierta), el consumo del compresor no supera el 10% de la potencia nominal del motor. El objetivo es que el consumo de energía varíe del 10 al 100% proporcionalmente a la potencia frigorífica generada por el compresor.
- Un simple pistón en la parte más alta, integrado con la espiral superior, está pilotado por una válvula solenóide montada entre la cámara de modulación y el puerto de aspiración del compresor. Cuando la válvula está cerrada, el gas a alta presión de la cámara de modulación mantiene el pistón hacia abajo. La espiral está trabado en el "modo de carga" y la compresión se produce. Cuando la válvula solenóide abre, el pequeño volumen de gas a alta presión de la cámara de modulación fluye hacia la aspiración, liberando al pistón, y la espiral pasa al "modo sin carga" y no hay compresión.




E. TORRELLA

COMPRESORES "SCROLL" Inyección de refrigerante

Pag. 34

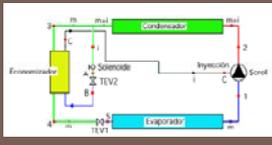
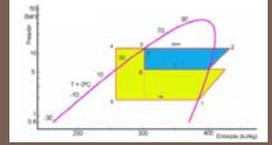
- En los compresores Scroll utilizados en refrigeración, la inyección de refrigerante se encuentra entre las nuevas tecnologías enfocadas a la mejora del funcionamiento. La inyección se puede hacer de dos modos:
 - *Inyección de vapor*
 - *Inyección de líquido refrigerante*

E. TORRELLA

COMPRESORES "SCROLL" Inyección de refrigerante en fase vapor

Pag. 35

- El método consiste en la introducción de un economizador, este conlleva tomar, de la salida del condensador, una pequeña fracción de refrigerante, a la que se hace circular primero por una etapa de expansión, usualmente por un tubo capilar y, posteriormente, a través de un intercambiador de calor o economizador, donde se calienta con la otra fracción de refrigerante que sale del condensador.
- El refrigerante se inyecta en el compresor Scroll como vapor saturado, y su cantidad viene determinada por:
 - La diferencia entre la presión del condensador y la presión de la celda del Scroll.
 - Por el diámetro del tubo capilar.
- El refrigerante restante del condensador, después de subenfriarse en el economizador, se expande antes de entrar al evaporador. Esta técnica, ha sido utilizada con éxito desde hace mucho tiempo en los compresores de tornillo de instalaciones industriales.
- Durante el proceso de subenfriamiento, el vapor que se genera como consecuencia del intercambio térmico en el interior de dicho economizador es aspirado de forma continua por el propio compresor.

E. TORRELLA

COMPRESORES "SCROLL" Puntos de Inyección de refrigerante en fase vapor

Pag. 36

De esta forma, dicho vapor se incorpora a la corriente de gas que está siendo comprimida y en combinación con ella dispersa a través de los espirales del compresor hacia su salida del sistema. El proceso de inyección de vapor en el sistema de gas produce una gran parte de la capacidad de refrigeración de los espirales donde dicho gas ya se encuentra a la salida de los espirales (a cámara de presión atmosférica), lo que garantiza que el flujo másico a la entrada del compresor, y con ello la capacidad del evaporador, no varíe.

- Las principales ventajas, para un sistema, derivadas de la aplicación de los compresores Scroll de inyección de vapor de pueden resumir en los siguientes puntos:
 - **Incremento de la capacidad frigorífica con inyección de vapor:** El subenfriamiento adicional al que se somete al líquido refrigerante y, por tanto, el momento ecuivalente en la descarga de condensado entre la salida y celda del evaporador, es el responsable del aumento de la capacidad frigorífica que se genera al poder conectar en un sistema que utilice un compresor Scroll de inyección de vapor.
 - La entalpia del líquido refrigerante subenfriado h_{sc} , en kJ/kg, se puede calcular por la ecuación:

$$h_{sc} = h_{sc}(T) - c_p(T) \cdot (T_{con} - T_{sc})$$
 donde:
 - h_{sc} = entalpia del refrigerante líquido saturado a la temperatura de condensación (kJ/kg)
 - $c_p(T)$ = calor específico del refrigerante líquido a presión constante (kJ/kg°C)
 - T_{con} = temperatura de saturación del refrigerante líquido a la presión de condensación
 - T_{sc} = temperatura del refrigerante líquido subenfriado (°C)
 - La capacidad de los compresores Scroll de inyección de vapor con respecto a sus homologos en desplazamiento (m³/h) de inyección resulta en todos los casos superior siendo el incremento medio del orden del 7%.
 - **Incremento de la eficiencia (COP) con inyección de vapor:** Por la propia razón de que un compresor Scroll de inyección de vapor siempre es superior al que proporciona cualquier otro compresor de una sola etapa de la misma capacidad, la ganancia media en el COP en una amplia gama es del orden del 46%.



E. TORRELLA

COMPRESORES "SCROLL" Inyección de refrigerante en fase líquida

Pag. 37

- Es una buena opción cuando se pretenden alcanzar relaciones altas de presión. En realidad, el funcionamiento del compresor con relaciones altas de presión puede causar temperaturas de descarga excesivamente altas que pueden dañar químicamente el aceite y el refrigerante y causar un fallo mecánico.
- Mediante un compresor Scroll de inyección de líquido es posible proporcionar un adecuado enfriamiento por inyección de líquido refrigerante desde el condensador directamente a la cámara de succión o en el espacio cerrado de compresión.

E. TORRELLA

COMPRESORES "SCROLL" Inyección de refrigerante en fase líquida

Pag. 38

- El concepto es extremadamente simple: La válvula solenoide permanecerá activada y abierta, siempre que el compresor esté en marcha. El modelo de dosificador capilar tiene que ser acorde al tipo de refrigerante y al modelo de compresor empleado.
- Un método alternativo en lugar de un tubo capilar para controlar la inyección, es una válvula controlada por la temperatura de la descarga. Esta detecta la temperatura en la cabeza del compresor mediante un bulbo, alojado en una cavidad especialmente dispuesta en la carcasa del compresor. Cuando la temperatura alcanza la determinada por el fabricante, el bulbo envía una señal de presión que abre esta válvula para que comience la inyección.
- En ambos casos, una pequeña conexión va de la línea líquida del condensador a un tubo capilar o a una válvula controlada por la temperatura. La válvula o el tubo capilar están unidos directamente al puerto de inyección del compresor.
- Se toma una pequeña cantidad de refrigerante desde la línea de líquido que hace las veces de masa de inyección.
- Como en el proceso de inyección de vapor, esta masa de inyección está directamente relacionada con:
 - La diferencia de presión entre el condensador y la celda intermedia del Scroll
 - Con el diámetro del capilar de inyección y de la tubería de los canales internos del Scroll por donde se inyecta esta masa
- Al igual que en la inyección de vapor, aquí se observa también un ligero aumento en la potencia consumida por el compresor, debido al aumento del trabajo al comprimir el refrigerante inyectado adicionalmente. Sin embargo, el resultado es el enfriamiento suficiente del gas de descarga, de modo que permite relaciones de compresión más elevadas que las halladas normalmente en condiciones de temperatura de evaporación baja y de condensación elevada.

E. TORRELLA

COMPRESORES "SCROLL" Comparación con alternativos

Pag. 39

Capacidad	Compresor Scroll (kg)	Compresor de pistón (kg)
8 kW	~32	~48
10 kW	~32	~50
13 kW	~34	~72
22 kW	~41	~88

E. TORRELLA

COMPRESORES "SCROLL" Potencias máximas

Pag. 40

Refrigerante	TEÓRICO (kW)	REAL (kW)
R-12	~400	~400
R-134a	~300	~300
R-22	~1000	~100
R-502	~1000	~1000
R-125	~1000	~1000
R-717	~400	~400
C3H6 (PROPANO)	~1500	~1500

El valor práctico mínimo para el R-22 es de unos 10 kW

E. TORRELLA