

# Ingeniería Energética General

Ahorro Energético Integral

## Sistemas de Refrigeración Propiedades de los Refrigerantes

Tablas P – T de los refrigerantes más utilizados

## Resumen

El Instructivo ha sido preparado y editado para la comprensión y la utilización del **calculador pt\_refrigerantes**, disponible en **libre acceso** en nuestra web [www.energianow.com](http://www.energianow.com) (ver [Calculadores\\_Energéticos](#)).

El calculador imprime la temperatura (en °F) de saturación del refrigerante y la temperatura de recalentamiento o subenfriamiento (según el caso), si se registra en su Formulario de entrada la presión manométrica (en psig) y la temperatura real (en °F), tomadas ambas en el mismo punto del sistema de refrigeración. Estos parámetros están estrechamente vinculados al comportamiento del sistema, por lo que son útiles para el diagnóstico durante la operación.

El calculador abarca los refrigerantes de mayor utilización, como el R22, R410, R407c, R12 y R134a e imprime o muestra esta información en los intervalos de temperaturas desde -58 °F (-50 °C) y hasta +139 °F (+59 °C).

Al disponer en tiempo real de la información anterior, el personal encargado puede decidir como solucionar fallas, corregir el rumbo de la operación y promover una operación eficiente.

Próximamente se complementará este calculador, con un procesador que incluirá el resto de los indicadores que miden la eficiencia energética en estos sistemas.

Sobre el documento Sistema Refrigeración que aquí muestro, contiene la información básica sobre el proceso cíclico de la refrigeración, en este caso por compresión de gases, dirigido a aquellos visitantes e interesados que necesitan informarse previamente sobre el abc de este proceso termodinámico, donde tomar las mediciones de presión y temperatura real, como proceder con esta herramienta de cálculo y que información se puede extraer una vez conocido los parámetros que el calculador nos muestra. Se describe aquí el sistema de refrigeración, las características de los gases refrigerantes y su comportamiento en el ciclo de refrigeración. También contiene información sobre el diagnóstico, información sobre las alteraciones de estos parámetros y las causas que pueden generar los defectos de la operación, haciendo hincapié en que estas fallas alteran la eficiencia energética del sistema.

Para la programación de este calculador, ha sido necesario el empleo de las Tabla P – T de los principales refrigerantes empleados. El procesador concibe dentro de su programación, la interpolación de los valores discretos que como conocemos, se registran en las Tablas de propiedades termodinámicas de los gases y vapores, por lo que el resultado que se muestra es el valor interpolado que coincide con la presión manométrica real medida en un punto del sistema y registrada en el Formulario de entrada. A la vez, conocida la temperatura real en ese punto, el calculador imprime el grado de recalentamiento o subenfriamiento del refrigerante (según el caso) en ese mismo punto.

Estaremos muy a gusto con recibir sus comentarios, con el fin de continuar mejorando este tipo de información tan necesaria.

## Sistemas de Refrigeración-Tablas. Propiedades de los Refrigerantes

### Objetivos.

[Introducción](#)

[Descripción del sistema de refrigeración por compresión de vapor](#)

[Gases refrigerantes. Principales características](#)

[Comportamiento del refrigerante en los diferentes puntos del sistema](#)

[Diagnóstico del sistema de refrigeración](#)

[Tablas Presión - Temperatura de los refrigerantes. Los de mayor uso](#)

[Empleo de las Tablas de presión temperatura de los refrigerantes. Diagnósticos.](#)

[Información que se deduce de las variaciones del valor operacional de subenfriamiento y superenriquecimiento](#)

### Introducción

El sistema de refrigeración se define como un sistema cerrado, en el cuál el proceso de absorción y liberación de calor se realiza por medio de un refrigerante que fluye en un ciclo de compresión de vapor. Para realizar el trabajo de compresión que realiza el sistema de refrigeración, requiere del consumo de la energía y lo más común es encontrarnos que el compresor está accionado por un motor eléctrico. Los conjuntos de refrigeración que son accionados por motores de combustión interna, son menos frecuentes encontrarlos que los movidos por electricidad. Lo mismo ocurre con los conjuntos de refrigeración accionados por generadores de absorción que emplean quemadores de combustibles, o colectores solares.

Estos sistemas energéticos están muy ligados a nuestra vida diaria. La refrigeración está presente en todos los sectores de la económica y la sociedad, desde el sector residencial donde los sistemas de refrigeración doméstica son comunes en la mayoría de los hogares, ejemplos tenemos en el mueble frigorífico, o el aire acondicionado que climatiza (refresca o calienta) el interior de las habitaciones. A ritmo con el desarrollo del nivel de vida de la humanidad, cada día que pasa se incrementan el empleo de la refrigeración residencial, destacándose en el crecimiento el aire acondicionado individual, sectorizado y centralizado, sumando consumo de energía a la factura eléctrica individual, tanto para refrescar el ambiente interior de los locales como en la estación de invierno, para calefacción de interiores.

En el sector comercial, la refrigeración asegura la conservación y congelación de los alimentos. Estos sistemas forman parte del proceso de exhibición y venta en los grandes, medianos y pequeños centros comerciales. Conocemos los muebles, mostradores, congeladores, botelleros y consolas refrigeradas. En la transportación y distribución de alimentos, tanto terrestre, marítimo como el aéreo, la refrigeración garantiza la congelación y conservación durante la travesía. El almacenamiento de los alimentos se realiza en cámaras refrigeradas, tanto para su congelación, como para la conservación de los mismos. También se emplean cámaras aisladas donde se coloca el hielo producido en un sistema de refrigeración, en sus diferentes formas, como pueden ser bloques de hielo de distintas dimensiones. El hielo en cubo o en forma de tubo es empleado para el enfriamiento de bebidas embotelladas, o si cumple las condiciones sanitarias establecidas, para el enfriamiento de líquidos directos. El hielo en escama, es utilizado principalmente en la industria pesquera, pues su estructura en forma de

virutas y escamas facilita un mayor contacto superficial de las estibas o cargas del pescado al depositarlos en las cajas. La conservación de las capturas en la pesca requiere garantías de que el pescado llegue fresco a puerto seguro.

En la industria de la alta tecnología, como la biotecnología, la farmacéutica, la genética, la electrónica, la informática (hard y software), fabricación de medicamentos, la refrigeración es muy propia del proceso y la climatización asegura la calidad del ambiente interior de los locales. En el Sector de Salud, los hospitales, clínicas y laboratorios no funcionarían sin la climatización. Sin ella no es procedente realizar operaciones en los salones de cirugía, no funcionarían las salas de cuidados intensivos y los departamentos de diagnóstico clínico.

En el sector turístico es primordial para garantizar la calidad del servicio hotelero. En los edificios de administración y oficinas, etc.

En fin, estamos en presencia del sistema energético de mayor utilización en la vida diaria de todos nosotros por su amplia difusión, por lo que podemos concluir que es un sistema globalizado. Por lo tanto, la operación de este sistema energético y sus consecuencias posteriores, impacta de lleno a nuestro Planeta. Para bien, es un sistema que está al alcance de la gran mayoría por su amplia utilización en nuestra vida diaria. Esta forma o particularidad facilita que muchos de nosotros podamos actuar positivamente, si sabemos como hacerlo. Y ese es el objetivo principal de este Instructivo, facilitar conocimientos para que el interesado conozca que hacer para que estos sistemas operen con mayor eficiencia.

El consumo de electricidad de los sistemas de refrigeración y la eficiencia de su empleo, dependerá de muchos factores, todos muy al alcance de nuestras decisiones. Hay factores que clasifican como propios del proceso que se realiza, otros están asociados a la forma de operación del sistema, también influye en la eficiencia los factores vinculados con el estado técnico del equipamiento.

Los indicadores o intensidad de consumo por unidad frigorífica, varían en función de la temperatura de operación del sistema de refrigeración. Así los sistemas que operan a bajas temperaturas de evaporación, tienen un indicador mayor que los de mediana y alta temperatura de evaporación.

No es menos importante conocer que también influyen en la eficiencia del consumo de energía, los factores que podemos clasificar como externos al sistema de refrigeración, como son las condiciones medioambientales, la orientación y ubicación de los componentes del sistema en la zona de instalación, los parámetros con los cuales se han seleccionado los equipos y se han adquirido, en este último grupo principalmente los parámetros relativos al régimen de carga / capacidad.

En cualquier esquema de consumo - distribución y uso de la electricidad, los sistemas de refrigeración y aire acondicionado pueden representar entre el 30 y 50 % en la estructura del consumo. Conocemos que grandes consumidores de electricidad, también son grandes emisores de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, cuestión estrechamente ligada, de ahí que estemos ante uno de los sistemas de refrigeración donde nuestra actuación personal y colectiva puede influir en mejoras de la factura, de la economía y de la descontaminación ambiental.

En resumen, el sistema de refrigeración es un sistema cerrado, donde se realiza cíclicamente un proceso de compresión de un gas refrigerante, que puede ser accionado por un motor eléctrico, o por un motor de combustión interna, o por un generador de calor. Hemos conocido que estos sistemas son grandes consumidores de energía durante su funcionamiento y por eso, potentes emisores de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Conocimos también que por su amplia difusión en todos los sectores de la economía y la sociedad, la gran mayoría de nosotros podemos actuar positivamente sobre su eficiencia, si sabemos como hacerlo.

## Descripción del sistema de refrigeración por compresión de vapor

En su forma más sencilla, un sistema de refrigeración consta de cinco componentes: Compresor, Condensador, Evaporador, Dispositivo de Expansión y Tuberías

**Compresor:** Es el corazón del sistema, ya que mueve el flujo de refrigerante. Su función es recibir vapor de refrigerante a baja presión (y temperatura) proveniente del evaporador y comprimirlo a alta presión (y temperatura). El vapor a alta presión es convertido a fase líquida en el condensador.

**Condensador:** El condensador absorbe el calor que trae el vapor de refrigerante a alta presión y lo transfiere al aire forzado que recibe de los ventiladores, o hacia el agua de enfriamiento, según sea enfriamiento por aire o por agua. El vapor de refrigerante se condensa dentro de este intercambiador, pasando a la fase líquida.

**Dispositivo de Expansión.** En fase líquida el refrigerante generalmente es almacenado y posteriormente llega a la válvula de expansión. El líquido, que permanece a alta presión antes de la válvula, es estrangulado en su paso por este dispositivo y expandido, transformándose en una mezcla líquida gaseosa a baja presión. Este dispositivo separa la zona de alta de la baja presión.

**Evaporador,** equipo donde concluye la evaporación de la mezcla de refrigerante líquido - gas, absorbiendo calor del medio que está siendo enfriado. Todo el refrigerante debe pasar al estado vapor.

Saliendo del evaporador, ya en forma de vapor, con una presión y temperatura baja, el refrigerante regresa a la succión del compresor para nuevamente ser comprimido y recalentado. Por supuesto, la comunicación de los equipos para el transporte de refrigerante, se realiza mediante conductos de tuberías, las que requieren en algunas zonas del sistema, aislarse térmicamente.

Dado que el dispositivo de expansión regula el flujo de refrigerante hacia el evaporador, su selección es de particular importancia para la operación posterior del sistema de refrigeración.

De acuerdo al tipo y la complejidad del sistema de refrigeración, encontramos distintos medios auxiliares integrados al sistema. Entre ellos los instrumentos de medición y control, tales como manómetros y termómetros indicadores y registradores, los amperímetros y voltímetros para medir los parámetros de la corriente eléctrica y medidores de flujo. Otros medios auxiliares son los filtros, tanque de almacenamiento de refrigerante, visores de líquido, visores de nivel de aceite, válvulas de sobrepresión, etc. También, para los sistemas que emplean agua de enfriamiento en la

condensación, o enfrían agua, está presente el sistema de Tratamiento Químico del Agua (TQA). El sistema de TQA se integra al de refrigeración, fusionándose por decirlo, pues su comportamiento y estado técnico influirá directamente en la eficiencia energética del sistema de refrigeración.

Finalmente, un componente principal en este conjunto, es el hombre, quien diseña, proyecta, selecciona, opera, mantiene y controla este tipo de sistema energético, que como hemos conocido antes, son altos consumidores de energía. De ahí que la formación y preparación de personal, de técnicos y especialistas en esta rama energética, es de suma importancia.

## **Gases refrigerantes. Principales características**

Como hemos leído anteriormente el fluido térmico que circula en el sistema cerrado de refrigeración, es un gas refrigerante, y en la descripción del sistema realizada en el apartado anterior, hemos conocido que este fluido absorbe o cede calor en las diferentes etapas y equipos por donde va circulando y transformándose.

Entonces un gas portador refrigerante no es más que una sustancia que tiene la capacidad de transportar e intercambiar calor con el medio ambiente, cediendo calor a alta temperatura y absorbiéndolo a baja temperatura.

Un buen refrigerante debe cumplir múltiples cualidades, que por desgracia no todas pueden ser satisfechas a la vez. Hasta hoy no se ha logrado un refrigerante "ideal". Seguidamente menciono algunas de las principales cualidades a satisfacer.

Se hace evidente que en la medida que la naturaleza del refrigerante sea tal que las P - T de condensación se aproximen a las del ambiente, necesitaremos menos energía para comprimirlo y para enfriarlo, y con ello el indicador de consumo por unidad frigorífica también será menor. A la vez, si coincidiera que su diferencia en calor latente (respecto al ambiente) fuese lo suficientemente alto para realizar la transferencia de calor, requeriríamos menos cantidad de refrigerante para ejecutar el trabajo y con ello menos compresión. Ambas cualidades son primordiales en el consumo de energía. Se suman otras propias de la naturaleza química del refrigerante, las que proporcionarán poder realizar el trabajo de refrigeración con mayor o menor eficiencia.

Ordenado las cualidades que debe cumplir un buen refrigerante, tenemos las siguientes:

- a) No debe degradar la atmósfera al escaparse. Debe ser inerte sobre la reducción de la capa de ozono y no incrementar el potencial efecto invernadero.
- b) Ser químicamente inerte, no inflamable, no explosivo, tanto en su estado puro como en las mezclas.
- c) Inerte a los materiales con los que se pone en contacto, tuberías, sellos, juntas, etc.
- d) No reaccionar desfavorablemente con los aceites lubricantes y presentar una satisfactoria solubilidad en él.
- e) No intoxicar el ambiente por escapes y ser nocivo a la salud de las personas.
- f) La relación P1/P2 debe cumplir con la eficiencia del consumo energético.
- g) Poseer un elevado coeficiente de transferencia de calor por conducción.
- h) Cumplirse que la relación presión - temperatura en el evaporador sea superior a la atmosférica, para evitar la entrada de humedad o aire al sistema.

- j) Que su punto de congelación sea menor que la menor temperatura de trabajo de sistema de refrigeración
- k) Fácil detección en fugas.
- l) Bajo precio y fácil disponibilidad.

Un propósito que se persigue y aún no se cuenta con su solución, es contar con un aceite lubricante que funcione con todos los tipos de refrigerantes orgánicos e inorgánicos.

Podemos clasificar los refrigerantes en dos grupos.  
Los orgánicos o que provienen de los hidrocarburos halogenados.  
Los inorgánicos.

Dentro de los orgánicos se conocen tres familias:

- a) CFC (Flúor, Carbono, Cloro). Clorofluorcarbono. Son los primeros causantes del deterioro de la capa de ozono e internacionalmente ya se ha prohibido su fabricación y empleo. Contienen hidrógeno y flúor en su molécula y estos lo hacen muy estable en la atmósfera por largos periodos de tiempo. En esta familia encontramos los R11, R12, R115.
- b) HCFC (Hidrógeno, Carbono, Flúor, Cloro). También afectan la capa de ozono pero en menor cuantía y su desaparición está prevista para el 2015. El R22 es el componente principal de la familia.
- c) HFC (Hidrógeno, Flúor, Carbono). Son los nuevos refrigerantes. No presentan potencial destructor de la capa de ozono. En este grupo clasifican el R134 y el R404

Los nuevos refrigerantes HFC, tienden a sustituir a los CFC y los HCFC. A continuación se presentan los diferentes tipos de refrigerantes sustitutos para los principales servicios:

Servicios	CFC / HCFC	HFC
Limpieza del sistema	R11	R141b
Baja temperatura	R502	R404 / R408
Media temperatura	R12	R134a / R409 / R600
Aire acondicionado o Alta temperatura	R22	R407c

# INGENIERÍA ENERGÉTICA GENERAL

Inst: IEG: 100225  
www.energianow.com

Aplicaciones	Descripción	Refrigerantes empleados
Refrigeración Doméstica	Unidades domésticas	R-600a, R-134a
Refrigeración Comercial	Muebles y Exhibidores refrigerados	R-134a, R-404A, R-507
Procesamiento de alimentos y almacenamiento	Cámaras refrigeradas, frigorífico	R-134a, R-404a, R-507, R-717
Refrigeración Industrial	Procesos químicos, líneas de producción de derivados lácteos, bebidas, farmacéutica, etc.	R-134a, R-407c, R-410a
Transporte refrigerado	Cámaras refrigeradas	R-134a, R-404a, R-507
Enfriamiento electrónico	Enfriamiento para procesadores y componentes de hardware	R-134a, R-404a, R-507
Refrigeración - Medicina	Salones de cirugía, Salas Intensivas, medios de diagnósticos	R-134a, R-404a, R-507
Refrigeración criogénica		Ethylene Helium

Los portadores refrigerantes pueden ser puros o mezclas de diferentes gases, las que a su vez pueden ser azeotrópicas y no azeotrópicas. Las mezclas azeotrópicas se comportan como una sola molécula pura de refrigerante. Se identifican con el código que empieza por 5, ejemplo R500, R502. Las mezclas no azeotrópicas, formadas por varios componentes, no se comportan como un refrigerante puro. Se identifican empezando por 4, como son R404, R407c, etc. Este tipo de mezcla presenta lo que se conoce como deslizamiento, lo que significa que a la misma presión hay diferentes temperaturas de condensación en los componentes de la mezcla, por lo que cuando uno está en estado líquido, aún otro componente puede estar en fase vapor. Este deslizamiento del punto de condensación, puede alcanzar entre 1 hasta 7 °C. En el refrigerante 407c se asume un deslizamiento hasta 10 °C.

Los refrigerantes que su código comienza por 6 son los isobutanos, como el R600 que se emplea en instalaciones domésticas.

Los portadores refrigerantes inorgánicos, son inertes a la contaminación atmosférica. Estos se identifican con el código que comienza por 7. Ejemplo R717- amoniaco, el R744 - Dióxido de Carbono o el R764 - Dióxido de Azufre. Los refrigerantes naturales no alteran la atmósfera, pero algunos como el amoniaco es altamente tóxico.

En conclusión, aún no se ha diseñado o existe un refrigerante que satisfaga todas las condiciones ideales que deben cumplirse y que se han relacionado anteriormente, por lo que siempre habrá que decidirse por el empleo de uno de ellos, y renunciar a algunas de estas cualidades.

## Comportamiento del refrigerante en los diferentes puntos del sistema

A la succión del compresor, el refrigerante llega en estado de vapor, a baja temperatura. En la medida que el sistema opere a menor temperatura, el valor de ésta y de la presión en la succión también será menor. Es importante asegurar que todo el refrigerante llegue en estado de vapor al compresor y eliminar la posibilidad que

partículas de líquido alcancen las válvulas de succión y los pistones del equipo. Una vez comprimido el vapor refrigerante, pasa al estado recalentado, a una presión superior. La cantidad de gas comprimido y la eficiencia de compresión, dependerán de la capacidad volumétrica del refrigerante y de la relación de presiones a la que éste tiene que ser sometido.

Dentro de condensador, cede el calor al fluido de enfriamiento, a la presión de alta, condensándose y pasando al estado líquido. Ya en estado líquido es almacenado y conducido hasta la entrada de la válvula de expansión, donde el líquido al expansionarse genera un cambio de fase al estado vapor, coexistiendo ambas fases, líquido - vapor a la salida de la válvula de expansión.

Dentro del evaporador, se produce la evaporación total del refrigerante, cambio de fase que se realiza a costa del calor que absorbe del medio a refrigerar.

Desde el evaporador, se dirige a la succión del compresor y se repite el ciclo.

Estos cambios sucesivos de fase del refrigerante y la manera en que estos se realizan, pueden ser monitoreados perfectamente conociendo las presiones y temperaturas en cada punto del sistema de refrigeración donde estos cambios ocurren. Es por ello que conocer las Tablas P - T de los refrigerantes más usados y la forma de empleo, se convierte en una herramienta de trabajo de amplia utilidad, tanto para el personal que opera, como para los que explotan y controlan estos sistemas.

## **Diagnóstico del sistema de refrigeración.**

Para un diagnóstico práctico y en tiempo real, se requiere tener a mano los medios siguientes:

- a) la documentación técnica para saber como realizar el diagnóstico,
- b) la automatización en un calculador de las Tablas de P - T para los refrigerantes de más uso, de forma que introduzcamos el valor de la presión manométrica tomado en cualquiera de los puntos sensibles del sistema de refrigeración y nos reporte cual es la temperatura de saturación en ese punto.
- c) automáticamente comparar el valor reportado por el calculador con la temperatura real y conocer el valor de recalentamiento o superenriquecimiento y del subenfriamiento del refrigerante.

Con la teoría aportada en este Instructivo, basados en el valor del recalentamiento y subenfriamiento, el operador podrá diagnosticar si el sistema se encuentra funcionando dentro o fuera de parámetros. Las desviaciones de estos parámetros están asociadas a infiltraciones de gases inertes no condensables, obstrucciones en los conductos de evaporación y otras causas. Las infiltraciones de aire diluyen el volumen de refrigerante que circula, alteran la relación  $p_2/p_1$  de compresión. La humedad que acompaña a las infiltraciones del aire ambiente, se condensa en las zonas de baja temperatura, válvula de expansión y evaporador, aumentando la caída de presión que se opone al flujo de refrigerante, descontrolando el funcionamiento de la expansión, lo que reduce la capacidad de enfriamiento e incremento de los índices de energía/frigorías.

## Tablas Presión - Temperatura de los refrigerantes. Los de mayor uso

Por lo general todos los fabricantes de equipos y sistemas de refrigeración, de gases refrigerantes y las empresas de servicios técnicos distribuyen a sus clientes y técnicos las Tablas de propiedades termodinámicas de los refrigerantes, pero no todos conocen su empleo y como sacar de esta información el máximo aprovechamiento.

Son pocos los que utilizan las Tabla de P - T para diagnosticar el problema que está sucediendo en el sistema de refrigeración y la opinión de muchos (me incluyo) es que se hace incomodo trabajar con ellas, principalmente al pié del equipo. Por ese motivo, he acopiado la información sobre este tema y preparado este Instructivo, que estará publicado en el server de la Web de Ingeniería Energética General, 24/7 OnLine bajo LIBRE ACCESO, por lo que podrá estar al alcance de todos los que se interesen por un mejor control de los sistemas de refrigeración que operan. El resultado final a alcanzar es que muchos puedan participar por iniciativa propia o en colectivo, en elevar la eficiencia de estos sistemas, reducir el consumo de energía y como resultado inducido, menos CO2 a la atmósfera de nuestra Tierra.

Tengo en mi poder una Tabla que la forman 6 columnas y unas 100 filas. La primera columna registra la temperatura de saturación en °C y las otras 5 reportan la presión de saturación, en psig, para los refrigerantes de mayor empleo, R22, R410, R407c, R12 y R134a. Ambos puntos, T y P se encuentran sobre la línea de saturación de cada refrigerante en el diagrama termodinámico T-H. Esta será la Tabla que automatizaré, con lo cuál facilitaré su empleo para determinar el recalentamiento y subenfriamiento en los puntos sensibles del sistema de refrigeración.

El valor inicial de temperatura comienza en -50 °C y alcanza +50 °C, abarcando los valores probables de presión - temperatura que se pueden encontrar en los puntos térmicos principales del sistema de refrigeración y que son utilizados para evaluar el comportamiento eficiente del mismo. Por cada grado centígrado en ese intervalo de temperaturas, la Tabla P - T reporta los valores de las presiones de saturación para cada uno de los refrigerantes.

A muy bajas temperaturas, (entre -50 y -27 °C) los refrigerantes pueden tener presión positiva o negativa, según la naturaleza del gas. Ya a valores mayores de temperatura (sobre -27 °C), todos los refrigerantes presentan presiones positivas, superiores a la atmosférica. De ahí que los valores reportados en la Tabla, dentro del intervalo anterior de bajas temperaturas, puedan ser presiones negativas (de vacío) o presiones positivas (mayor a la atmosférica). Por ejemplo, en este intervalo de bajas temperaturas, el R-410 mantiene su presión positiva, pero el resto de los refrigerantes tendrán presión de vacío, en función del valor de temperatura a la cuál se encuentra.

Para el correcto empleo de los parámetros registrados en la Tabla que automatizaré, hay que describir sus principales características:

- a) en el intervalo de bajas temperaturas, tendremos que indicar con un signo negativo si la presión es de vacío (- negativa)
- b) las unidades en que se reporta la presión de vacío es en pulgadas de mercurio. La presión positiva se reporta en libras/plg<sup>2</sup>. Por lo que si se mide presiones negativas y

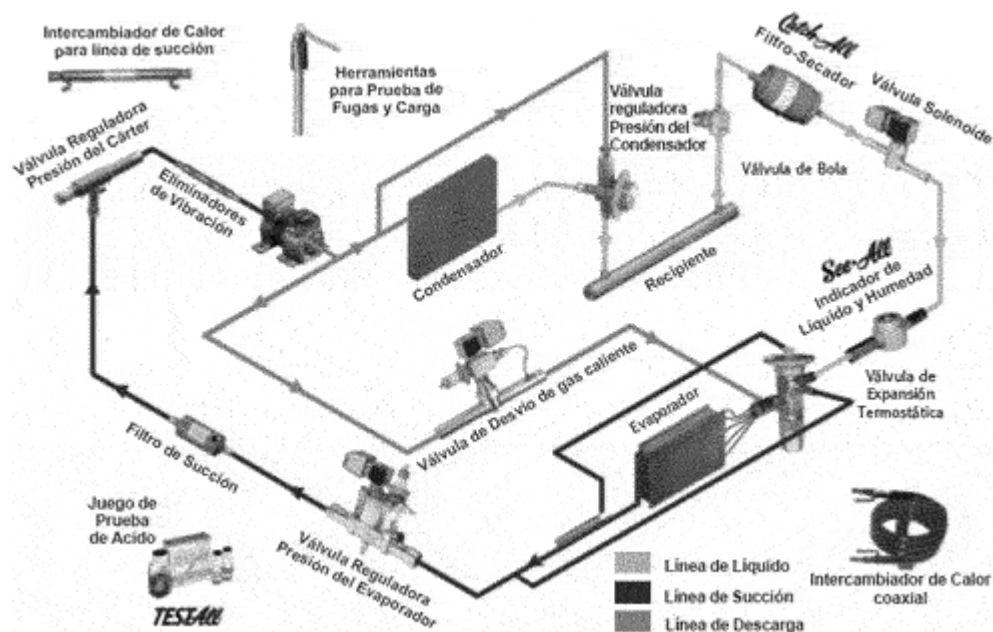
se quiere utilizar el calculador, hay que convertirlas a plg de mercurio y colocar un signo negativo delante. Si el usuario dispone de presiones en atmósfera, deberá hacer la conversión previa de sus unidades lb/plg<sup>2</sup> man. (psig).

El R410, como ya explique antes, es el único de estos refrigerantes que dentro de este intervalo (-50 °C a -27 °C), su presión es siempre positiva. El extremo es el R134a, él que a valores de temperatura de -27 °C aún mantiene valores de presión negativa. La siguiente Tabla muestra ese comportamiento: En cada columna solo he registrado el primer valor de la presión positiva, (en negrita) que por supuesto, es el más bajo. A valores mayores de temperatura, la presión positiva irá creciendo hasta el límite de la temperatura de esta Tabla que es 50 °C. Los valores en rojo son presiones de vacío negativas, en plg de mercurio.

tempgC	R22	R410	R407	R12	R134a
-50	-10.9	+0.4	-15.1	-18.3	-21.1
-48	-8.9		-13.4	-17.1	-20.1
-46	-6.7		-11.5	-15.8	-18.9
-44	-4.3		-9.5	-14.3	-17.6
-42	-1.7		-7.2	-12.7	-16.2
-40	+0.5		-4.8	-11.0	-14.7
-39			-3.5	-10.1	-13.9
-38			-2.2	-9.1	-13.0
-37			-1.8	-8.2	-12.1
-36			+0.3	-7.1	-11.2
-35				-6.1	-10.3
-34				-5.0	-9.3
-33				-3.9	-8.2
-32				-2.7	-7.2
-31				-1.5	-6.1
-30				-0.2	-4.9
-29				+0.48	-3.7
-28					-2.4
-27					-1.1
-26					+0.1

## Empleo de las Tablas de presión temperatura de los refrigerantes.

Conocido el sistema de refrigeración, conocido los distintos refrigerantes y su comportamiento en el sistema, estamos listos para entender como utilizar las Tablas de P -T de los refrigerantes para poder realizar diagnósticos a este sistema.



Esquema típico de un sistema de refrigeración

En la figura anterior se puede ver el compresor, condensador, recipiente colector, filtro secador, indicador de humedad, válvula termostática, evaporador y filtro de succión. Nos referiremos a cada uno de estos componentes para precisar el estado que presenta el refrigerante en la entrada y salida de los mismos. También, podemos apreciar la línea de líquido, tuberías de un color gris claro, la línea de succión, con un color negro, representando el vapor a baja presión y la línea de descarga o alta presión, de un gris oscuro, representando el gas refrigerante o la alta presión. Podemos ver como el bulbo térmico que acciona la válvula de expansión, está fijado a la tubería en el punto más cercano a salida del evaporador. Es la dinámica de la toma de temperatura a la salida del evaporador, la que abrirá más o menos la alimentación de líquido refrigerante al evaporador.

Veamos como la relación  $P - T$  puede ser útil para valorar el comportamiento del sistema. Si dividimos el sistema de refrigeración en la zona de alta y la zona de baja presión, podemos notar que en la zona de alta presión encontramos el refrigerante en las tres fases posibles: A la descarga del compresor, en forma gaseosa y recalentado, en el condensador el refrigerante se licua y pasa a líquido. En el recipiente colector, el refrigerante líquido estará en equilibrio con el vapor. En la línea que va a la válvula de expansión, encontramos solamente líquido. Por lo general se instala en esta línea un visor de líquido que nos asegura que el refrigerante está en su forma líquida y no llega vapor a la válvula de expansión.

Posterior a la válvula de expansión entramos en la zona de baja presión, y encontramos antes del evaporador una mezcla de refrigerante expansionado en fase vapor y de partículas líquidas. Ya en el evaporador el refrigerante pasa a vapor.

Una cuestión importante a tener en cuenta es que solo en las zonas donde el refrigerante se encuentra en equilibrio entre fases, líquido - vapor, la relación  $P - T$  se

cumple tal y como se reporta en la Tabla P-T. Por lo anterior, solo hay tres lugares en el sistema de refrigeración en operación normal donde la relación P - T es ciertamente válida. Estos lugares son el evaporador, el condensador y el tanque de líquido, donde estamos seguros que el líquido está en equilibrio con su vapor. En estas zonas de equilibrio, donde el vapor está mezclado con el líquido, la relación P - T se mantiene constante. Por lo que conocido uno de estos parámetros, se puede determinar el otro, si tenemos a mano una Tabla P - T.

¿Que pasa en aquellos puntos del sistema donde el refrigerante no está mezclado?

En los puntos del sistema donde está presente solo el vapor, como es el caso de la línea de succión del compresor, en la práctica la temperatura real será mayor que la indicada en la Tabla P - T, para la misma presión que estemos midiendo. En este caso la diferencia de temperatura entre la real y la de la Tabla, ambas correspondientes a la presión medida, se denominará el superenriquecimiento o recalentamiento del vapor. Lo contrario sucede en la línea de líquido, por ejemplo en la zona antes de la válvula de expansión. La temperatura real del sistema será menor que la temperatura que reporta la Tabla y que se corresponde con la presión medida en ese punto. La diferencia entre la temperatura de la Tabla y la real se conoce como subenfriamiento.

En el esquema anterior del sistema de refrigeración, indicaremos varios puntos de medición, asumiremos valores de presión manométrica y temperatura para describir el comportamiento del refrigerante. Haremos la descripción, considerando que este proceso ocurre en dos sistemas, uno funcionando con R12 y otro con R22

Primer punto: **Entrada del evaporador.**

Sistema R 12. Parámetros medidos a la entrada del evaporador. Temperatura de  $-6^{\circ}\text{C}$  y la presión de 22 psig.

Un manómetro instalado en este punto indica una presión de 22 psig, correspondiendo en la Tabla P-T para el R12 una temperatura de  $-6^{\circ}\text{C}$ , la misma que ha sido medida.

Sistema R 22, Parámetros medidos a la entrada del evaporador. Temperatura de  $5^{\circ}\text{C}$  y la presión de 70 psig. La temperatura según la Tabla P - T es de  $5^{\circ}\text{C}$ , por lo que el refrigerante se encuentra en zona de mezcla.

Segundo punto: **Salida del evaporador.**

Sistema R12. Parámetros medidos a la salida del evaporador. Temperatura de  $-3^{\circ}\text{C}$  y presión de 18 psig. En este punto solo encontramos refrigerante en fase gaseosa y recalentado. Para el valor de la presión manométrica de 18 psig, la temperatura de equilibrio es de  $-9^{\circ}\text{C}$ . Hay una diferencia entre la temperatura real de  $-3$  y la de la Tabla  $-9$  que es igual a  $6^{\circ}\text{C}$  de recalentamiento.

Sistema R 22. Parámetros medidos a la salida del evaporador. Temperatura de  $9^{\circ}\text{C}$  y presión de 67 psig. Según la Tabla P - T, a la presión de 67 psig, se corresponde con una temperatura de equilibrio de  $4^{\circ}\text{C}$ , por lo que tenemos que la medición real de  $9^{\circ}\text{C}$  es superior a la de la Tabla, estamos en presencia  $5^{\circ}\text{C}$  de recalentamiento.

Tercer punto: **Entrada del compresor.**

Sistema R12. en la succión del compresor, se asume el mismo valor de presión que el de la salida del evaporador, de 18 psig y la temperatura real medida es de  $8^{\circ}\text{C}$ . El recalentamiento del vapor es de  $17^{\circ}\text{C}$  [ $8 - (-9)$ ] =  $17^{\circ}\text{C}$ .

Sistema R22. Presión de succión, 67 psig y una temperatura de 16 °C, Calculamos la diferencia respecto a la de la Tabla P - T que para 67 psig fue de 4 °C. El valor del recalentamiento del vapor es de  $16 - 4 = 12$  °C

Cuarto punto: **Salida del compresor.**

Sistema R12. La medición P - T en la descarga del compresor, 146 psig y 86 °C. En la Tabla P - T la temperatura de equilibrio para 146 psig es de 46 °C. El recalentamiento asciende a  $86 - 46$  °C = 40 °C.

Sistema R22. R22, La medición P - T en la descarga del compresor, 261 psig y 99 °C. La Tabla P - T para esta presión registra 49 °C y el recalentamiento alcanza  $99 - 49 = 50$  °C.

Quinto punto: **Centro del condensador.**

Sistema R12. Se ha instalado un manómetro que mide 146 psig (como si no existiese pérdida de carga) y 46 °C. Según la Tabla P - T, la temperatura de equilibrio correspondiente es de 46 °C, por lo que coincide con el valor real.

Sistema de R22, Presión de de 261 psig y t de 49 °C. Se cumple que la temperatura de la Tabla P - T para esa presión es idéntica a la de la medición real, de 49 °C.

Sexto punto: **Tanque de Líquido.** Presión de 135 psig y T de 43 °C. Existe una caída de presión desde el condensador. La temperatura del líquido según la Tabla P - T es de 43 °C. Como el refrigerante esta en equilibrio líquido - vapor, la temperatura real coincide con la de la Tabla.

Sistema R 22, la presión en el Tanque de Líquido es de 242 psig y la temperatura de 46 °C. La temperatura en la Tabla P - T correspondiente es de 46 °C y coincide con la medición real.

Si tenemos presente una columna de líquido, como sucede a la salida del Tanque, el subenfriamiento puede ser mejorado bajando la temperatura del líquido mediante el intercambio de calor con el refrigerante que sale del evaporador. Así también se enriquece este vapor, recalentándose, reduciendo la posibilidad que gotas de líquido se pongan en contacto con las partes metálicas de las válvulas de admisión del compresor. Es conveniente mantener el subenfriamiento del refrigerante en la línea de líquido para evitar la formación de flash y la presencia de gas antes de la válvula de expansión.

Séptimo punto: **Antes de la válvula de expansión.**

Sistema R12. En la línea de líquido, el sistema tiene la misma presión que la del Tanque, 135 psig y t de 40 °C. La temperatura de la Tabla P - T a esa presión es de 43 °C y la real, en ese punto ha sido de 40 °C. De ahí que el subenfriamiento es de  $-3$  °C (40- 43).

Sistema R 22, en este punto la presión es de 242 psig y la temperatura medida de 43 °C. La temperatura correspondiente en la Tabla P - T de 46 °C para un subenfriamiento de  $-3$  °C

Octavo punto: **Entrada de la válvula de expansión.**

Sistema R12. Presión de 131 psig y temperatura de 40 °C. La temperatura en la Tabla es de 42 °C. La temperatura real de la medición ha sido de 40 °C, para un subenfriamiento de -2 °C.

Sistema R22, la presión cae a 225 psig y temperatura de 39 °C. La temperatura en la Tabla P - T de 43 °C para un subenfriamiento de -4 °C

A diferencia de lo que he asumido antes, en los sistemas reales hay diferencias entre las presiones medidas a la salida del compresor y el condensador, debido a la pérdidas de carga del flujo en la tuberías. Es por eso que para una toma de datos certera, debemos medir puntualmente la presión del sistema y no asumir los valores. El mismo error podemos cometerlo al asumir la presión en la válvula de succión del compresor igual al valor de la presión a la salida del evaporador. Esto podría coincidir o acercarse a la verdad en los sistemas pequeños, donde las pérdidas de carga son mínimas, pero en los de mediana y gran capacidad no.

## **Información que se deduce de las variaciones del valor operacional de subenfriamiento y superenriquecimiento.**

Por lo general se requiere determinar el superenriquecimiento del gas refrigerante a la salida del evaporador, para comprobar el funcionamiento de la válvula de expansión. Para ello se instala un manómetro en la línea de succión, en la zona próxima al bulbo sensor de la válvula. Las válvulas de expansión operan para un valor de superenriquecimiento (recalentamiento) del refrigerante determinado y su comportamiento es medido a través de los valores de temperatura a la salida del evaporador y a la entrada. Brevemente explico como es el mecanismo.

Anteriormente, cuando explicamos el Esquema típico de una instalación, habíamos conocido que el bulbo térmico que actúa sobre la regulación de flujo de la válvula de expansión, está fijado a la tubería en el punto más cercano a salida del evaporador, por lo que la temperatura que actuará para abrir más o menos la alimentación de líquido al evaporador, será la que presente la corriente de refrigerante cuando sale del proceso de evaporación. Entre el valor de la temperatura a la salida del evaporador y el valor real de la temperatura dentro del evaporador, hay una diferencia, aportada por el resorte o muelle de regulación de la válvula de expansión. Esa diferencia es igual al valor del superenriquecimiento (recalentamiento) que la válvula de expansión debe asegurar para una correcta operación del sistema. Los cambio de la temperatura del vapor del refrigerante en la salida del evaporador es causado por uno de dos eventos:

- a) La presión del resorte o muelle de regulación de la válvula se ha modificado por medio del ajuste de la válvula,
- b) o se ha producido un cambio de carga térmica del evaporador.

Cuando se ajusta la válvula de expansión aumentando la tensión del resorte, se disminuye el flujo del refrigerante dentro del evaporador y el vapor se recalienta a un punto superior, aumenta el recalentamiento. Al reducir la tensión del muelle de la válvula, aumenta el flujo de refrigerante y por supuesto, la carga térmica del evaporador. Así el refrigerante se evapora a mayor velocidad y la diferencia de temperatura entre el punto de salida del evaporador y su interior, tienden a igualarse.

Conocido este mecanismo, cuando sin tocar el muelle de ajuste de la válvula de expansión ocurren variaciones en el valor del recalentamiento a la salida del

evaporador, estos cambios serán debido a anomalías en el funcionamiento del sistema. Atendiendo a su tendencia (aumento o reducción) se pueden deducir sus causas y con ello proponernos soluciones para corregir nuevamente la marcha del proceso.

Con el empleo de la Tabla P -T podemos determinar estas variaciones. Si hay un obstáculo en el evaporador, se desajusta el funcionamiento de la válvula de expansión, al aumentar la caída de presión. Entonces, hay un aumento en el valor del recalentamiento.

El empleo de las Tablas P - T pueden servirnos para detectar la presencia de gases no condensables en el interior del sistema. Cuando la temperatura del refrigerante en el condensador es menor a la indicada en las Tablas P - T para una presión determinada, es una señal de la presencia de gases no condensables. Inducidamente el fluido de enfriamiento abandonará el condensador a una temperatura inferior y estas diferencias de temperatura en el fluido de enfriamiento, también puede indicarnos la presencia de gases indeseables.

## Otras fallas que podemos diagnosticar con el empleo de las Tablas P - T

Cuando la temperatura de recalentamiento en la succión del compresor tiende a aumentar en un periodo de tiempo, por lo general es una señal de falta de refrigerante. Esta falla coincide generalmente con la congelación de la válvula de expansión, pues precisamente la expansión se realiza antes de llegar a ella, enfriando la zona fuera del límite operacional. Por lo contrario, cuando se reduce el recalentamiento en la succión del compresor, y en la válvula de expansión notamos también una temperatura superior a la nominal de operación, puede ser síntoma de exceso de refrigerante.



Sobre el Autor: René Ruano Domínguez tiene más de 30 años de experiencia en actuaciones en sistemas y equipos energéticos, tanto en los que utilizan energía fósil como fuentes renovables. Se inició como operador, posteriormente tecnólogo y Gerente Técnico en la Industria de Conversión y Refinación de los Combustibles. Ha sido fundador y Gerente Técnico de varios Equipos de Ingeniería Energética dirigidos al Proyecto, Montaje y los Servicios Técnicos en los Sistemas de Calor y Frío, abarcando la generación, distribución y uso del vapor y el agua caliente en mediana y pequeñas instalaciones, hasta 10 bar de presión; y en los sistemas de Frío las bajas temperaturas (refrigeración y producción de hielo industrial), medianas temperaturas (conservación) y altas temperaturas (Aire Acondicionado) para instalaciones industriales y comerciales. Ha realizado múltiples actuaciones en proyectos, ejecución y servicios de Ingeniería Energética General.