

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERIA Y GESTION

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MÉCANICA Y

ELÉCTRICA



“PROPUESTA PARA SUSTITUIR EL REFRIGERANTE R-22, DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO DEL CASINO FORTUNA, POR EL REFRIGERANTE R-407C, PARA CUMPLIR LOS ESTANDARES EMITIDOS EN EL PROTOCOLO DE MONTREAL”

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

AYOSA HERRERA, JUAN MANUEL

Villa El Salvador

2017

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por brindarme sabiduría y haberme dado la familia que tengo. A San Judas Tadeo; intercesor de mis peticiones, por haberme concedido la fortaleza para seguir con este proyecto. En especial a mi amada, Sofía, quien siempre ha estado en los momentos más difíciles y es el motivo, fuerza y aliento en seguir mis objetivos. Asimismo, a mis Padres que, sin duda han sido el medio, estímulo y aliento para la culminación de la carrera.

DEDICATORIA

A Dios, a mi pareja Sofía, a mi familia por su comprensión y apoyo, a mi asesor y a la Universidad Nacional Tecnología de Lima Sur (UNTELS) por la oportunidad de participar en el programa para obtener el título de Ingeniero Mecánico Eléctrico

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	Pág. 10
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	Pág. 11
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.....	Pág. 11
1.2. Justificación del Proyecto.....	Pág. 12
1.3. Delimitación del Proyecto.....	Pág. 12
1.4. Formulación del Problema.....	Pág. 13
1.5. Objetivos.....	Pág. 13
1.5.1. Objetivo General.....	Pág. 13
1.5.2. Objetivos Específicos.....	Pág. 13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	Pág. 15
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	Pág. 15
2.2. Bases Teóricas.....	Pág. 16
2.2.1. Aire acondicionado.....	Pág. 16
2.2.2. Tipos de Sistemas de Aire Acondicionado.....	Pág. 18
2.2.2.1. Sistemas autónomos.....	Pág. 18
2.2.2.2. Sistema todo refrigerante.....	Pág. 19
2.2.2.3. Sistema todo agua.....	Pág. 20
2.2.2.4. Sistemas todo aire.....	Pág. 21
2.2.2.5. Sistema aire-agua.....	Pág. 22
2.2.2.6. Sistemas en Estudio.....	Pág. 24
2.2.3. Tipos de Aire Acondicionado por tipo de servicios.....	Pág. 26
2.2.3.1. Domésticos.....	Pág. 26

2.2.3.2. Comerciales.....	Pág. 29
2.2.4. Refrigerantes.....	Pág. 31
2.2.5. Clasificación de Refrigerantes por sus componentes químicos.....	Pág. 32
2.2.5.1. Clorofluorocarbonos (CFC's).....	Pág. 32
2.2.5.2. Hidroclorofluorocarbonos (HCFC's).....	Pág. 33
2.2.5.3. Hidrocarburos (HC's).....	Pág. 33
2.2.5.4. Compuestos inorgánicos (R-717, R-744).....	Pág. 33
2.2.6. Clasificación de Refrigerantes por su numeración ASHRAE.....	Pág. 34
2.2.6.1. Refrigerantes Puros.....	Pág. 34
2.2.6.2. Refrigerantes Alotrópicos.....	Pág. 34
2.2.6.3. Refrigerantes Zeotrópicos.....	Pág. 35
2.2.7. Sustitución del R-22.....	Pág. 35
2.2.8. Instalaciones basadas en R-22.....	Pág. 36
2.2.9. Normativa para el R-22.....	Pág. 37
2.2.10. Alternativas para la reconversión o sustitución del R-22.....	Pág. 37
2.2.11. Criterios para la reconversión.....	Pág. 38
2.2.12. Procedimiento para la sustitución del R-22.....	Pág. 38
2.2.13. Sustitución de componentes principales.....	Pág. 40
2.2.14. Reciclaje y regeneración.....	Pág. 40
2.2.15. El uso del R407C en sistemas de Aire Acondicionado.....	Pág. 42
2.2.16. Compresor.....	Pág. 43
2.2.17. Ciclo frigorífico de compresión.....	Pág. 47
2.2.18. Aditamentos eléctricos.....	Pág. 48

2.2.19. Recomendaciones de buen uso del compresor.....	Pág. 51
2.3. Marco Conceptual.....	Pág. 52
CAPÍTULO III: PROPUESTA Y CÁLCULO DEL COSTO DE LA SUSTITUCIÓN DEL REFRIGERANTE R-22 POR UN REFRIGERANTE R407C.....	Pág. 56
3.1. Propuesta de sustitución de refrigerante para el R-22.....	Pág. 56
3.2. Aplicación de los cálculos para R-22 y R-407C.....	Pág. 59
3.3. Revisión y consolidación de resultados.....	Pág. 67
CONCLUSIONES.....	Pág. 76
RECOMENDACIONES.....	Pág. 77
BIBLIOGRAFÍA.....	Pág. 78
ANEXOS.....	Pág. 80

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de aire acondicionado tipo “Split”.....	Pág. 17
Figura 2. Algunos procesos para el acondicionamiento del aire.....	Pág. 18
Figura 3. Diagrama de un sistema autónomo.....	Pág. 19
Figura 4. Diagrama de un sistema todo refrigerante.....	Pág. 20
Figura 5. Diagrama de un sistema todo agua.....	Pág. 21
Figura 6. Diagrama de un sistema todo aire.....	Pág. 22
Figura 7. Diagrama de un sistema aire-agua.....	Pág. 23
Figura 8. Diagrama del sistema en estudio.....	Pág. 24
Figura 9. Unidad interior.....	Pág. 25
Figura 10. Unidad exterior.....	Pág. 25
Figura 11. Aire acondicionado de ventana.....	Pág. 26
Figura 12. Aire acondicionado – tipo Split.....	Pág. 27
Figura 13. Aire acondicionado – tipo Split de Techo.....	Pág. 27
Figura 14. Aire acondicionado – Portátil.....	Pág. 28
Figura 15. Aire acondicionado – tipo Split fan Coils.....	Pág. 28
Figura 16. Aire acondicionado – tipo Split de Pared.....	Pág. 29
Figura 17. Aire acondicionado – tipo Split de Techo.....	Pág. 30
Figura 18. Aire acondicionado Central – tipo Split de Techo.....	Pág. 30
Figura 19. Factores a considerar en la elección de un refrigerante.....	Pág. 32
Figura 20. Cronograma de eliminación del uso de HCFC.....	Pág. 36
Figura 21. Cuerpo del compresor.....	Pág. 44
Figura 22. Circulación de gas.....	Pág. 46

Figura 23. Sistema de descarga.....	Pág. 46
Figura 24. Sistema de compresión.....	Pág. 48
Figura 25. Conexión eléctrica.....	Pág. 49
Figura 26. Recalentamiento útil y recalentamiento en la línea de aspiración.....	Pág. 50

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Series de Refrigerantes.....	Pág. 35
Tabla 2. Alternativas para sustitución del R-22.....	Pág. 37
Tabla 3. Aplicaciones de aire acondicionado.....	Pág. 39
Tabla 4. Detalle de los resultados de estas pruebas realizadas.....	Pág. 42
Tabla 5. Comparación de resultado del R417A y R407C.....	Pág. 43

INTRODUCCIÓN

Las altas temperaturas que se están presentando en los últimos tiempos; están generando una demanda en el requerimiento de equipos de aire acondicionado, desencadenando un auge económico. Sin embargo frente a los problemas de contaminación, las empresas y la sociedad está tomando iniciativa en contribuir con el medio ambiente. Cabe señalar que desde hace años diversos países acordaron en el protocolo de Montreal que se suscribió en 1987; la erradicación del uso de las unidades de R-22, por ser unos de los principales contaminantes de la capa de ozono.

Por ende, la presente investigación tiene por objetivo brindar la alternativa de sustituir el R-22 por un alternativo que contribuya a la capa de ozono y a su vez mejore la calidad de aire; en este sentido se desarrollara paso a paso el mecanismo de sustitución del refrigerante y alternativas de sustitución de tal forma que permita mantener los parámetros de calidad que establece el refrigerante R-22, y así satisfacer a la sociedad dándole confort y calidad para sus ambientes.

Por ello es importante que para decidir sobre el refrigerante por el cual se debe sustituir; es necesario analizar el rendimientos y especificaciones que permitan darnos un panorama sobre el posible rendimiento y duración del mismo. Posteriormente se evalúan tantos parámetros térmicos entre ambos refrigerantes así como también el aspecto económico de las opciones.

Por último se incluirá precios de los refrigerantes del R-22 y también de los refrigerantes alternativos para finalmente decidir por la mejor opción que cumpla una aceptación económica a futuro.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Las emisiones mundiales de GEI causadas por las actividades humanas han aumentado en 70% desde la etapa preindustrial. Coincidiendo con este incremento en la concentración de GEI, se ha registrado un aumento de la temperatura global. El nivel de conocimiento actual permite señalar que la explicación más probable sobre la aceleración del calentamiento global es el incremento en la concentración de los GEI de origen humano tales como los HFC.

En el Protocolo de Montreal, el cual se llevó a cabo en 1987, los países asumieron el compromiso de reducir y eliminar de HFC's, por lo mismo que los antiguos equipos utilizaban el R-22.

Debido a los altos índices de temperatura en el Perú, ha surgido una demanda en el uso de sistemas de aire acondicionado que se utilizan en los hogares, complejos residenciales y plantas industriales. Sin embargo, las empresas a las que Waira System brinda servicios, tienen en común el uso de equipos con antigüedad de diseño y funcionamiento, asimismo el uso del R-22. Por esta razón, surge la iniciativa de investigar y analizar el procedimiento adecuado para sustituir el Gas R-22 en los equipos de aire acondicionado para la contribución de disminuir el agotamiento de la capa de ozono y en efecto mejorar la calidad de aire.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En los últimos tiempos el planeta tierra viene atravesando las consecuencias que trae consigo el calentamiento global, el efecto invernadero, y el deterioro de la capa de ozono, por consecuente se ha aumentado la contaminación del ambiente por el uso de agentes transgresores, cuya razón es ignorada y en efecto atenta la existencia de la raza humana.

Por ello ya se han creado Protocolos y uno de estos fue el Protocolo de Montreal que plantea la eliminación de los refrigerantes de las familias HFC (donde se encuentra el refrigerante R-22) y por ser uno de los más perjudiciales para la capa de ozono, por lo que a fines del año 2015 su consumo debe ser nulo y todas la empresas que utilizan el R-22, como refrigerante, deben cambiarlo por uno que no sea nocivo para el medio ambiente.

El acuerdo, fue ratificado por 191 países con el fin de proteger la capa de ozono, y el impacto general es reducir el 97 % de las emisiones de sustancias químicas que agotan la capa de ozono.

1.3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Delimitación Teórica

La importancia de este proyecto es dar una alternativa al uso de refrigerante R-22 que afectan al medio ambiente y en ello la propuesta es cambiar por un refrigerante alternativo que mantengan los parámetros de climatización y no varié los costos por la sustitución.

Delimitación Geográfica

El presente trabajo se limitara a las condiciones de la Empresa Waira System y al casino fortuna, ubicado en el Centro Comercial Risso en el distrito de Lince

Delimitación Temporal

El presente trabajo se desarrollara entre diciembre de 2018 y mayo de 2018.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La sustitución del R-22 a un sistema alternativo, resulta un reto, ya que; no solo se cambiaría el refrigerante, implican otros factores como el aceite refrigerante, limpieza de los tubos y posibles cambios de tubería; ya que estos trabajan a diferentes temperatura de presión y los refrigerantes alternativos que convierten el sistema convencional a un sistema ecológicos.

1.5. OBJETIVOS

A continuación se listan los objetivos que se deben cumplir en el presente trabajo.

1.5.1. Objetivo General

Analizar la Factibilidad del proceso de sustitución del refrigerante R-22 por el R407C en los equipos de aire acondicionado del Casino Fortuna.

1.5.2. Objetivo Especifico

Brindar una imagen al casino fortuna como empresa eco ambiental, al plantear una propuesta de sustitución del gas contaminante R-22.

Proteger el medio ambiente del gas R-22, cumpliendo el plan de acción del país para la eliminación progresiva de las SAO, que el Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal aprobó.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Mogollón, Pedro (2016)

El conocimiento de las leyes y principios que rigen la dinámica de un sistema de aire acondicionado, es fundamental para el desarrollo de esta tesis, ya que permite conocer el comportamiento dinámico de las variables más influyentes en el sistema.

El empleo del modelo matemático permite conocer a priori la dinámica del sistema de aire acondicionado, y con ello desarrollar un mejor análisis y control del sistema.

El objetivo principal de aplicar control descentralizado al modelo del sistema de aire acondicionado es eliminar las interacciones que puedan afectar en la respuesta del sistema multivariable. Al eliminarse las variables de mayores interacciones, se puede obtener un mejor control de las variables de salida del sistema.

Bermeo, Hugo (2009)

La presente tesis describe el estudio para realizar un trabajo profesional, a una Empresa que se produce alimentos de consumo masivo, ubicada en la ciudad de Guayaquil, en el mismo se pone en manifiesto el conocimiento adquirido sobre sistemas de refrigeración dentro de la empresa.

De acuerdo a los objetivos científicos-tecnológicos la tesis de graduación, tiene como propósito comenzar a disminuir la destrucción de la capa de ozono y contribuir a la calidad de vida en el Planeta.

Contribuir a evitar la destrucción de la capa de ozono mediante el cumplimiento de normas de seguridad y medio ambiente que debe tener una empresa.

El proyecto consiste en el diseño e implementación de un nuevo Sistema de Refrigeración con la particularidad de que emplee un refrigerante ecológico, para climatizar un área de 3230 m².

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Aire acondicionado

Se denomina acondicionamiento del aire al conjunto de procesos que permiten la transformación adecuada de las propiedades termodinámicas del aire que está localizado en el interior de un recinto (Torres Pucachaqui, 2008).

“Mediante la circulación del aire por determinados dispositivos de tratamiento se consigue el cambio adecuado en las propiedades del aire, permitiendo por consiguiente el cumplimiento de las condiciones termodinámicas deseadas por el usuario.

En la Figura 1 se ilustra el recorrido que típicamente sigue el aire a través de los dispositivos de tratamiento que existen en los sistemas de aire acondicionado de uso común. En este caso, se muestra un sistema de tipo “Split” (o también llamado sistema separado) operando en modo de enfriamiento.

Dentro del conjunto de procesos definido anteriormente como acondicionamiento del aire se incluyen: el calentamiento simple (aumento de la temperatura), el enfriamiento simple

(disminución de la temperatura), la humidificación (adición de humedad) y la deshumidificación (reducción de la humedad). En determinados casos se requiere del desempeño de dos o más de estos procesos para lograr que el aire de un recinto tenga los niveles de temperatura y humedad deseados por el usuario.

En la Figura 2 se muestran, mediante una carta psicrométrica, algunos de los procesos de acondicionamiento del aire mencionados anteriormente, así como sus variantes.

Para el adecuado acondicionamiento del aire se necesita de un sistema que permita modificar pertinentemente las condiciones termodinámicas del aire que se encuentra ubicado en el interior de un recinto. Este sistema está constituido por un conjunto de dispositivos que posibilitan tanto el adecuado tratamiento del aire como el control de determinados parámetros termodinámicos, como lo son: la temperatura, la humedad y la calidad del aire, realizando este control de manera independiente de las condiciones climatológica.

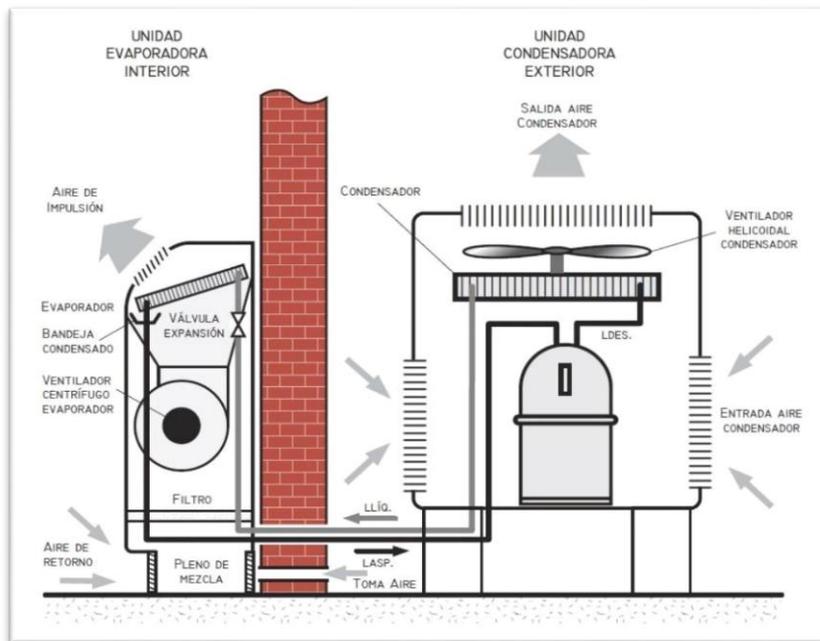


Figura 1. Sistema de aire acondicionado tipo "Split"

Fuente: Quadri, 20

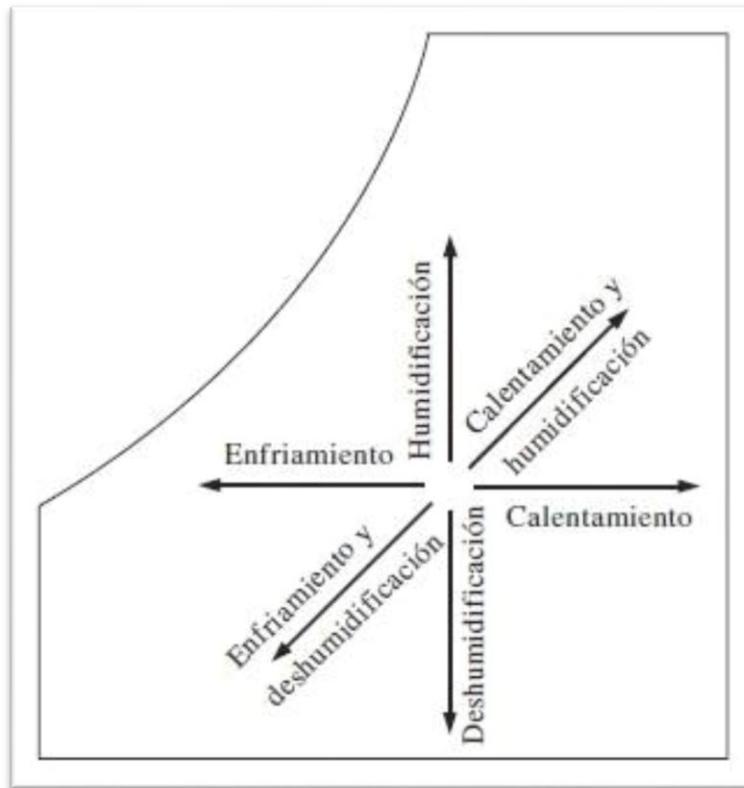


Figura 2. Algunos procesos para el acondicionamiento del aire

Fuente: Çengel & Boles, 2012

2.2.2 Tipos de Sistemas de Aire Acondicionado

2.2.2.1. Sistemas autónomos

Un sistema autónomo es un dispositivo compacto de expansión directa. Tal como se aprecia en la Figura 3, estos sistemas se instalan típicamente en ventanas, paredes o en el mismo recinto que se desea acondicionar, generalmente no emplean conductos, ya que para la distribución del aire se usan rejillas. Para el proceso de calentamiento del recinto (calefacción) se añade a lo mencionado anteriormente, dispositivos de calefacción como una bomba de calor o resistencias eléctricas.

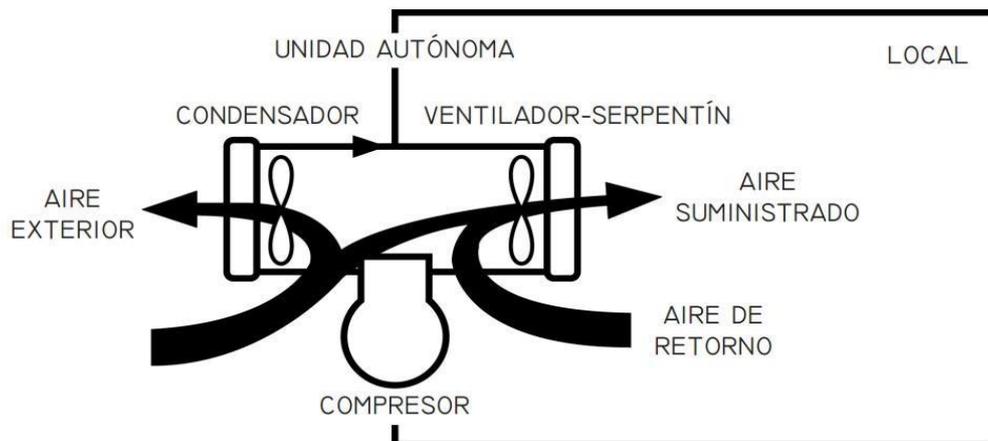


Figura 3. Diagrama de un sistema autónomo

Fuente: Quadri, 2001

2.2.2.2. Sistema todo refrigerante

Un sistema todo refrigerante, comúnmente llamado sistema separado o “Split System”, está constituido por dos unidades empaquetadas, es decir, una unidad evaporadora y una unidad condensadora. La unidad evaporadora consta de: un serpentín de expansión directa y un ventilador de suministro que hace recircular el aire que se encuentra dentro del local. La unidad condensadora se alimenta mediante un fluido refrigerante que se traslada por medio de cañerías desde esta unidad hacia la unidad evaporadora. Por lo general, la unidad condensadora se encuentra ubicada alrededor de la zona exterior. En la Figura 4 se muestra un típico sistema todo refrigerante o “Split System” operando en modo de enfriamiento.



Figura 4. Diagrama de un sistema todo refrigerante

Fuente: <http://www.arkigrafico.com>

2.2.2.3. Sistema todo agua

En la Figura 5 se muestra un sistema de tipo toda agua para la calefacción o refrigeración de uno o varios recintos. Este sistema, conocido también como sistema hidrónico, se encarga de distribuir agua caliente (para un proceso de calentamiento) o agua fría (para un proceso de enfriamiento) desde una planta central hasta cada recinto. El agua se calienta o se enfría en un equipo de calefacción o de refrigeración respectivamente (1). Mediante una bomba (2) se hace circular el agua (caliente o fría) hasta cada recinto mediante el empleo de tuberías (3). Al interior de cada recinto se encuentra instalada una unidad ventilador-serpentín (4), que se encarga de realizar el intercambio de calor entre el agua (caliente o fría) y el aire circundante que se desea acondicionar.

El agua gracias a sus valores de calor específico y de densidad, valores que son mucho mayores en comparación con las mismas propiedades que posee el aire, permiten que se necesite de menor volumen de fluido refrigerante (agua) para conseguir la misma cantidad de transferencia de calor que posibilite el adecuado acondicionamiento del recinto o recintos. Como resultado, el área de la sección transversal de la tubería utilizada es mucho menor para sistemas todo agua que para otros sistemas, por ello, estos sistemas son muy útiles cuando el espacio es una limitación.

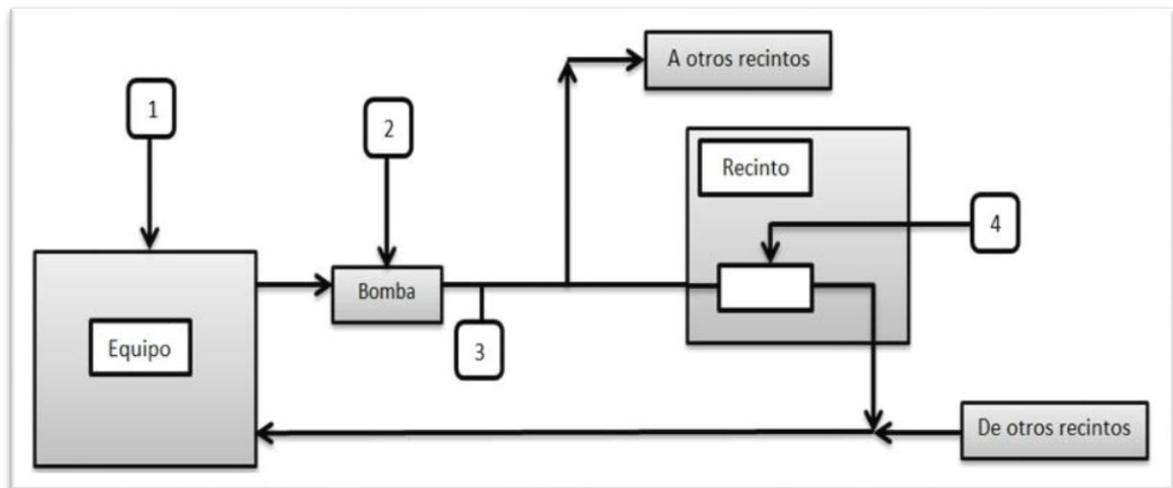


Figura 5. Diagrama de un sistema toda agua

Fuente: Elaboración propia

2.2.2.4. Sistemas todo aire

En la Figura 6 se muestra el diagrama para un típico sistema todo aire operando en modo de calentamiento o enfriamiento. La característica principal de este sistema es que la unidad de tratamiento de aire (1) está ubicada fuera del recinto que se desea acondicionar. Por ello, el único fluido que ingresa al recinto es el aire que ha sido previamente acondicionado (2). El aire se traslada por todo el sistema mediante tuberías de ingreso y de retorno (3).

Este tipo de sistemas son muy utilizados en lugares en donde las condiciones de control se mantienen constantes, es decir, los controles de la temperatura y de la humedad no son muy exigentes.

Las desventajas que surgen al usar este tipo de sistemas son básicamente dos. La primera desventaja es debido a las dimensiones del equipo, ya que como todo el sistema es grande y pesado, la instalación deber ser en una zona con una estructura rígida y espaciosa.

La segunda desventaja deriva de que si la unidad de tratamiento de aire está alejada del recinto que se desea acondicionar, los costos de operatividad aumentan considerablemente, debido a que la instalación de todo el sistema es más trabajosa, especialmente la instalación de las tuberías.

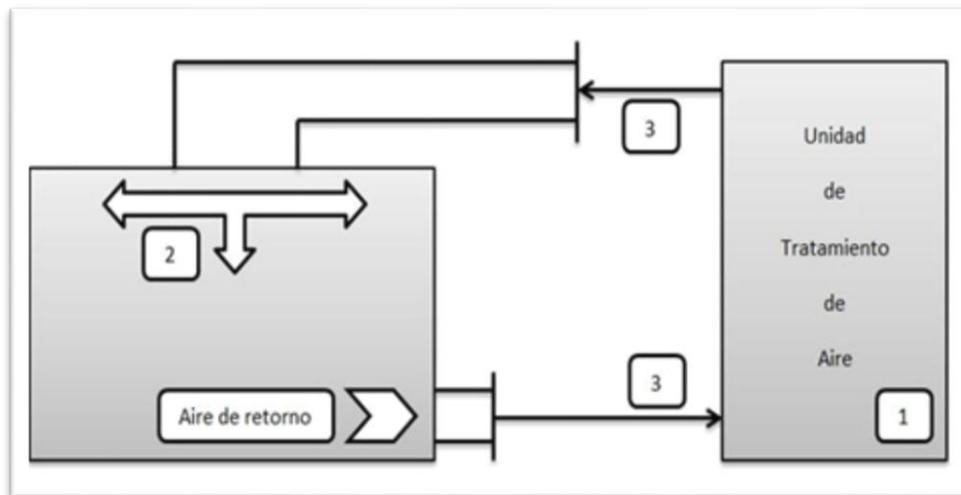


Figura 6. Diagrama de un sistema todo aire

Fuente: Elaboración propia

2.2.2.5. Sistema aire-agua

En la Figura 7 se muestra el diagrama típico para un sistema aire-agua operando en modo de calentamiento o de enfriamiento para la calefacción o refrigeración de uno o varios recintos.

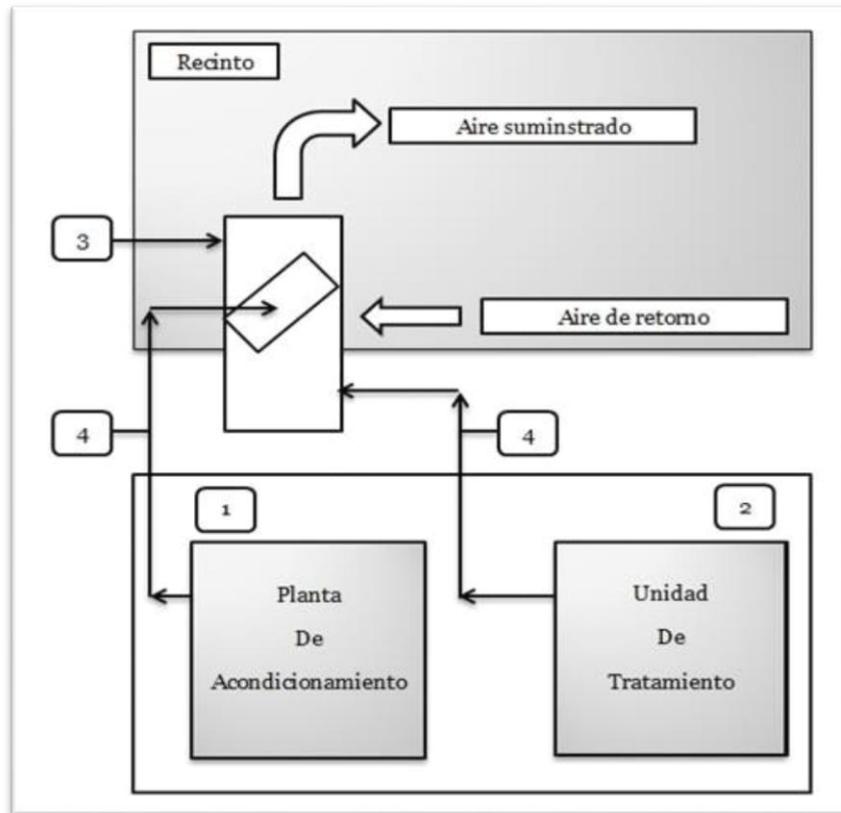


Figura 7. Diagrama de un sistema aire-agua

Fuente: Elaboración propia

En este sistema, la distribución tanto del agua (caliente o fría) como del aire acondicionado, provienen desde un equipo central, y mediante un sistema de tuberías (4) llega hasta cada recinto individual que se desea acondicionar.

El equipo central se divide en dos sistemas: una planta de acondicionamiento (1) que se encarga de almacenar el agua (caliente o fría), y una unidad de tratamiento (2) para el aire acondicionado (caliente o frío). Dentro de cada recinto se encuentra una unidad terminal (3) que cumple con la función de calentar o enfriar cada habitación. Se puede emplear como un tipo de unidad terminal a un sistema ventilador-serpentín, o bien, se puede inyectar el aire acondicionado directamente a cada uno de los recintos.

2.2.2.6. Sistemas en estudio

El sistema que se estudia en este proyecto es un “sistema todo refrigerante de expansión directa”. En los “sistemas todo refrigerante de expansión directa”, el fluido refrigerante enfría directamente el aire interior y que luego se distribuye a cada uno de los recintos mediante los serpentines que conforman al sistema, siendo esta la manera más efectiva de conseguir el objetivo de enfriar y deshumectar el aire, ya que se obtiene un intercambio directo entre el aire y el refrigerante

Los sistemas de aire acondicionado todo refrigerante de expansión directa son considerablemente utilizados en edificios y complejos habitacionales de magnitud pequeña y mediana. Comparándolos con los sistemas de tipo todo agua, que emplean agua fría como refrigerante, el uso de los sistemas todo refrigerante de expansión directa es ventajoso, porque su instalación y configuración es más sencilla, también son más eficientes energéticamente hablando, y por lo general su adquisición y posterior mantenimiento es de menor costo (Brodrick & Gilbride, 2002). En la Figura 8 se muestra un típico sistema de aire acondicionado todo refrigerante de expansión directa o conocido también como “Split System of direct expansión” operando en modo de enfriamiento.”[1]

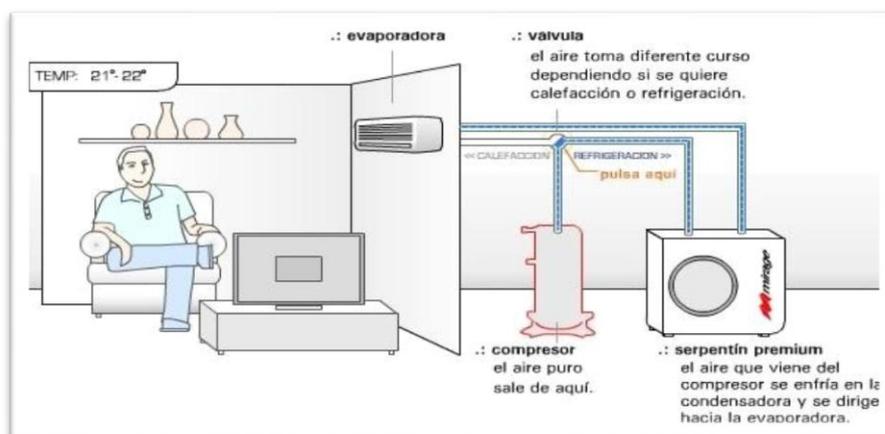


Figura 8. Diagrama del sistema en estudio

Fuente: <http://esiatecamachalco.foroactivo.com>

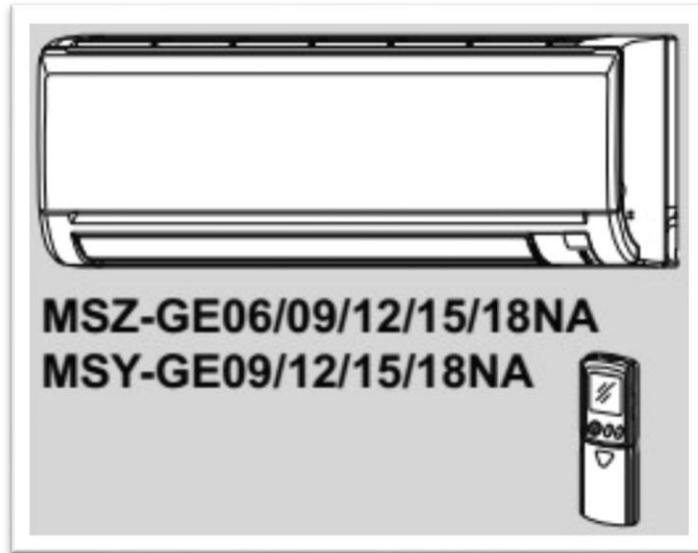


Figura 9. Unidad interior

Fuente: Catálogo Mitsubishi Electric

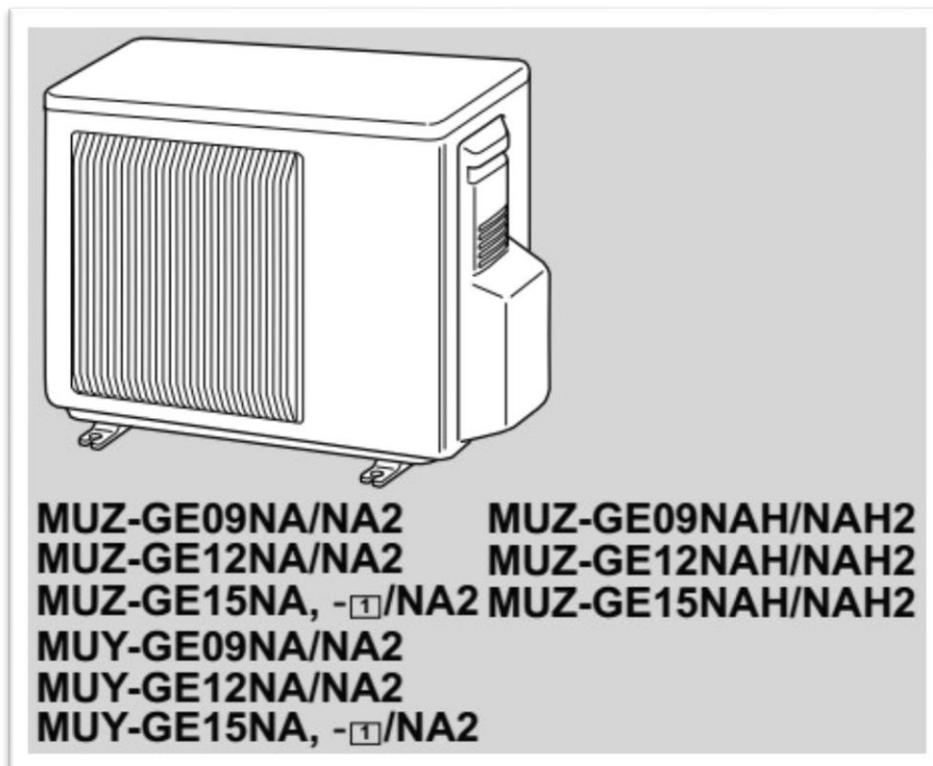


Figura 10. Unidad exterior

Fuente: Catálogo Mitsubishi Electric

2.2.3. Tipos de Aire Acondicionado por tipo de servicios

2.2.3.1. Domésticos

De ventana: Una caja cuadrada contiene todas las partes funcionales del sistema (véase figura 8). Debe colocarse en un boquete practicado a la pared de tal forma que quede una mitad del aparato en el exterior y la otra mitad en el interior.

Ventajas: Bajo costo de instalación. Fácil mantenimiento.

Inconvenientes: Suelen consumir un poco más de electricidad.

Son, por lo general, ruidosos y en algunas comunidades no se permiten al tener que hacer un gran boquete en la pared del edificio.



Figura 11. Aire acondicionado de ventana

Split (de Pared): Son los equipos que más se están instalando en la actualidad ya que presentan muchas ventajas frente a los de ventana y son relativamente económicos. La unidad que contiene el compresor se encuentra en el exterior del edificio y se comunica con la unidad interior (evaporador - condensador) (véase figura 12), mediante unos tubos por lo que el agujero que hay que practicar en la pared es relativamente pequeño. La variedad de potencias ofertada es muy amplia.

Ventajas: Los niveles de ruido son muy bajos y son muy estéticos, sobre todo los de última generación. El mantenimiento es sencillo.

Inconvenientes: La instalación es más complicada que en los modelos de ventana por lo que su coste es mayor. Es difícil de colocar en determinados sitios, como paredes prefabricadas.



Figura 12. Aire acondicionado –tipo Split

Split (consola de techo): Su funcionamiento es similar a los de pared aunque suelen ser de mayor capacidad (figura 13). Su instalación es más costosa y compleja. Ventajas: Elevada capacidad en un solo equipo (desde 36000 hasta 60000 BTU) muy indicados para grandes espacios.

Inconvenientes: Elevado coste de instalación. Suelen ser algo más ruidosos.



Figura 13. Aire acondicionado – tipo Split de Techo

Portátil: Incorporan todo el sistema en una caja acoplada con ruedas de tal forma que se puede transportar fácilmente de una estancia a otra (véase figura 13). Dispone de una manguera flexible que expulsa el aire caliente hacia el exterior.

Ventajas: No requiere de instalación. Se transportan con facilidad y emiten muy poco ruido.

Inconvenientes: Suelen ser bastante caros si tenemos en cuenta la relación calidad-precio.

No son muy potentes.



Figura 14. Aire acondicionado – Portátil

Centrales (compacto o tipo Split usando fan Coils): La idea es la misma que en los de tipo Split pero la instalación es mucho mayor. Se utiliza en acondicionamiento completo de edificios (figura 15). Su coste es muy alto pero ofrecen un alto nivel de confort.

Ventajas: Agrega mucho valor a la vivienda que cuenta con ellos. El mantenimiento es sencillo y espaciado en el tiempo.

Inconvenientes: Alto coste de instalación, utilización de conductos, plafones y techos rasos.



Figura 15. Aire acondicionado –tipo Split fan Coils

2.2.3.2. Comerciales

Split (consola de pared): Este modelo resuelve necesidades en comercios y locales pequeños como ciber-cafés, peluquerías, barberías, locales pequeños, etc. (véase figura 16).

Ventajas: fácil instalación y relativamente bajo costo de la misma. Mantenimiento más espaciado y relativamente fácil.

Desventajas: Se deben aplicar en locales con pocas separaciones pues no cuentan con un tiro de aire muy fuerte. Los locales deben tender a ser cuadrados en vez de muy "rectangulares" (un pasillo muy largo por ejemplo). Baja capacidad.



Figura 16 - Aire acondicionado – tipo Split de Pared

Split (consola de techo):

Es ideal en pequeños locales y comercios, como panaderías, comercios con alta rotación de clientes y ambientes abiertos (véase figura 17).

Ventajas: Instalación relativamente sencilla y de bajo costo para el tipo de aplicación. Silencioso, y si queda bien instalado ayuda a la decoración de muchos ambientes comerciales. Generalmente se puede aplicar en lugares que ya se encuentran decorados sin afectar demasiado la apariencia del local. Inconvenientes: Mantenimiento tiende a ser más periódico y frecuente en aplicaciones de ambientes de alta rotación de personas.



Figura 17- Aire acondicionado – tipo Split de Techo

Centrales (compacto o tipo Split usando fan Coils):

Este diseño se aplica con mucha frecuencia en locales donde se requiere de un confort extra y de un mayor nivel de decorado (véase figura 18).

Ventajas: Da imagen de alto valor y diseño costoso. Alta estabilidad térmica y mantenimiento relativamente espaciado en el tiempo.

Inconvenientes: Altísimo costo de instalación inicial, requiriendo de decoración y uso de plafones y techo rasos de alto costo de instalación. Uso obligado de conductos.



Figura 18. Aire acondicionado Central – tipo Split de Techo

Roof-Top: Las unidades Roof-Top destacan por su fácil instalación. Al tratarse de una unidad compacta, se elimina el trabajo de conexiones frigoríficas, y proporciona la máxima flexibilidad al permitir seleccionar entre la desembocadura de los conductos lateral e inferior.

2.2.4. Refrigerantes

“Un refrigerante es un fluido capaz de transportar el calor de un lado a otro en cantidades suficientes para desarrollar una transferencia de calor. Los refrigerantes son los fluidos de trabajo en los sistemas de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor. Estos productos absorben el calor de un área como el espacio acondicionado de una sala y es expulsado en otra área exterior generalmente por conducto del evaporador y del condensador respectivamente.

A lo largo de la historia de la refrigeración, se han utilizado varios tipos de refrigerantes, algunos tóxicos, otros inflamables, algunos más con propiedades ambientales limitadas, etc. Lo que ha llevado a la conclusión de que no existe hasta el momento un refrigerante ideal.

Para poder tener una mejor decisión de qué tipo de refrigerante se debe utilizar en una instalación de refrigeración y/o aire acondicionado, es importante considerar 4 factores básicos:

- Factores Ambientales
- Factores Económicos
- Factores de Seguridad
- Factores de Desempeño

Cada uno de estos puntos puede influir en forma muy importante si las instalaciones de refrigeración y aire acondicionado pueden ser viables de ser operadas por largo tiempo.



Figura 19. Factores a considerar en la elección de un refrigerante

2.2.5. Clasificación de Refrigerantes por sus componentes químicos

En la industria de la refrigeración y aire acondicionado se han utilizado múltiples sustancias químicas con diferentes características, desde los que no son inflamables ,ni tóxicos hasta los que presentan índices de inflamabilidad y toxicidad que provocan un mayor cuidado en el uso de los equipos y la prevención de fugas, en la parte siguiente se especifican los más utilizados en los sectores de consumo.

2.2.5.1. Clorofluorocarbonos (CFC's)

Compuestos altamente estables debido a su composición química basada principalmente en moléculas de cloro, flúor y carbono. Fueron introducidos al mercado en los años'30 del siglo pasado y tuvieron gran utilización en sectores de refrigeración, aire acondicionado, como solventes en la industria electrónica y metalmecánica, como agentes

de espumado para la elaboración del poliuretano y poliestireno y como esterilizantes médicos.

2.2.5.2. Hidroclorofluorocarbonos (HCFC's)

Compuestos estables de composición química similar a los CFC's pero con menos contenido de cloro en su molécula que provoca menores potenciales de agotamiento a la capa de ozono. Estos productos han sido utilizados en la refrigeración, aire acondicionado, como espumantes en la fabricación de poliuretano y como propolentes en la industria del aerosol.

2.2.5.3. Hidrocarburos (HC's)

Sustancias con buena capacidad de refrigeración y termodinámicamente aceptables para ser utilizadas en refrigeración, aire acondicionado y como espumante de poliuretano y poliestireno así como propolentes en la industria del aerosol.

Tienen propiedades ambientales muy aceptables debido a que no dañan la capa de ozono y tienen un bajo potencial de cambio climático, sin embargo su alta inflamabilidad los limita a ciertas aplicaciones por los altos costos de instalación y mantenimiento que son necesarios para aumentar la seguridad de los usuarios.

2.2.5.4. Compuestos inorgánicos (R-717, R-744)

El amoníaco (R-717) es un excelente refrigerante que ha sido utilizado desde los principios de la refrigeración. Tiene una alta capacidad de refrigeración y su aceptación es muy amplia entre los usuarios.

Su limitante es su alto nivel de toxicidad que ha provocado que este refrigerante solo sea utilizado en la refrigeración industrial de grandes cargas y lejos de los usuarios finales para evitar el contacto de este refrigerante con las personas.

También es posible utilizable como refrigerante secundario en sistemas donde el diseño de los mismos permitan su instalación.

El Bióxido de Carbono (R-744) un refrigerante que ha sido probado en varias aplicaciones debido a sus excelentes propiedades ambientales.

La limitante de este refrigerante es su alta presión de operación que no permite hacer diseños en todas las aplicaciones, actualmente es instalado en heladeras domésticas y comerciales con compresores fraccionarios y también es utilizado en sistemas como refrigerante secundario.

2.2.6. Clasificación de Refrigerantes por su numeración ASHRAE.

Existen diferentes tipos de refrigerantes que son utilizados en la industria de la Refrigeración y aire acondicionado actualmente, enseguida se hace una clasificación de los más comunes según la Norma 34 del ASHRAE con la finalidad de no manejar nombres químicos para las sustancias.

2.2.6.1. Refrigerantes Puros.- son aquellos que solo tienen un componente químico y su comportamiento está basado en sus propiedades termodinámicas propias de la sustancia como ejemplos se pueden citar el refrigerante 12(R-12), el refrigerante 11 (R-11), el propano (R-290), etc.

2.2.6.2. Refrigerantes Alotrópicos.- Son mezclas de refrigerantes principalmente de dos componentes los cuales se comportan como un compuesto puro debido que no tienen variación de temperatura y presión en los cambios de fase si se encuentran en su punto de azeotropía. Para casos prácticos su comportamiento es muy similar a un compuesto puro. Como ejemplo se puede citar a los refrigerantes R-502, R-507, R-508B, etc.

2.2.6.3. Refrigerantes Zeotrópicos.- Son mezclas de refrigerantes que si tienen variaciones de temperatura cuando existe un cambio de fase (condensación o evaporación) esto se debe principalmente a que los componentes que conforman la mezcla tienen diferentes puntos de ebullición. A esta variación de temperatura se le llama deslizamiento de temperatura o “glide” que debe ser considerado cuando se instalen este tipo de refrigerantes en los sistemas.

Esta clasificación también se le llama series de refrigerantes donde los componentes puros son de la serie del metano y etano (decenas y centenas), series 400 refrigerantes zeotropos y series 500 refrigerantes azeotropos.” [3]

Serie	Nombre	Gas
000	Metano	R-12
100	Etano	R-134a
400	Zeotropo	R-401A
500	Azeotropo	R-502

Tabla 1.- Series de Refrigerantes

2.2.7. Sustitución del R-22

“El R-22 es un refrigerante muy utilizado en sistemas de climatización. Cuando el R-22 se libera al aire, los rayos ultravioleta del sol lo descomponen, dejando escapar cloro a la estratósfera, dañando la capa de ozono y provocando que estos rayos lleguen a la superficie de la tierra, afectando así al medio ambiente y a la salud.

El Protocolo de Montreal asegura a nivel internacional la progresiva prohibición de las sustancias que agotan la capa de ozono y su completa desaparición en el año 2030. El Perú, como Estado Parte que opera al amparo del párrafo 1 del artículo 5 del Protocolo de Montreal, por lo que como parte de sus compromisos debe efectuar el congelamiento del

consumo de los HCFC en el 2013, el cual implementa en su calendario de reducción, completar la eliminación del consumo total del R-22 ya en el 2030 su eliminación total.

2.2.8. Instalaciones basadas en R-22

La Resolución Directoral N° 022-2013-PRODUCE/DIGGAM que prohibirá el uso del R-22 afectará a todos los sistemas actuales que utilicen este refrigerante. Por el momento, no es necesario sustituir de inmediato los equipos basados en R-22 en buen estado, ya que el mantenimiento todavía podrá llevarse a cabo con R-22, pero ya se planteó el congelamiento de consumo de este refrigerante.

Sin embargo, se esperan problemas de stock a medio plazo y aumentos de precio. Si no se dispone de R-22 recuperado, ya no se podrán realizar determinadas reparaciones (por ejemplo, cambiar un compresor) y los sistemas afectados pueden permanecer fuera de servicio durante períodos de tiempo considerables. Por ello, en muchos casos la mejor opción será la de adquirir un equipo de sustitución, especialmente en los casos en que el sistema de climatización tenga una gran importancia en el día a día de la empresa.

Cronograma de eliminación (*)	Medida de reducción
Promedio 2009-2010	Nivel base
Para el año 2013 ²	Congelamiento de consumo
Para el año 2015	Reducción 10%
Para el año 2020	Reducción 35%
Para el año 2025	Reducción 67,5%
Para el año 2030	Eliminación total (**)

(*)De acuerdo a los ajustes realizados en la 19ª Reunión de las Partes en el Protocolo de Montreal.

(**) Permitiendo un promedio anual del 2.5% para servicios de mantenimiento durante el periodo 2030-2040

Figura 20. Cronograma de eliminación del uso de HCFC.

2.2.9 Normativa para el R-22

El refrigerante R-22 es un HCFC por lo que, hasta el año 2015, podían realizarse las operaciones de mantenimiento pertinentes que implicaban el uso de este, ya que en ningún caso se prohibía su utilización hasta esta fecha.

Lo que indica la resolución Ministerial de la Producción es que desde el 2010 se dejaría de utilizar y se realizaría un congelamiento del R-22, en estado puro, en operaciones de mantenimiento y reparación. Solo podría emplearse R-22 reciclado, y el 2030 estará eliminando totalmente, sea cual fuere su uso y su origen.

2.2.10. Alternativas para la Reconversión o Sustitución del R-22

“Se evaluara las diferentes posibilidades de abordar la sustitución del gas refrigerante R-22.

La tabla siguiente muestra alternativas propuestas por los fabricantes de gases.

Nombre comercial	Número ASHRAE	Componentes [%]									Reconversión ó sustitución para
		HFCs				Hidrocarburos					
		R32	R125	R134a	R143a	R218	R290	R600	R600a	R601a	
R-404A	404A		44	4	52						R22
R-507	507		50		50						
AC9000	407C	23	25	52							
Forane 427A	427A	15	25	50	10						
Isceon 59	417A		46.6	50			3.4				
RS-44	424A		50.5	47			1	0.9	0.6		
Icor XAC1	422B		55	42				3			
RS-45	434A		63.2	16	18			2.8			
Isceon MO29	422D		65.1	31.5				3.4			
RS-52	428A		77.5		20		0.6	1.9			
Icor XLT1	422C		82	15				3		R402, R403, R408A	
Isceon MO79	422A		85.1	11.5				3.4			
RS-24	426A		5.1	93				1.3	0.6	FX56, R409A, R12	
R-413A	413A		88			9		3			

Tabla 2. Alternativas para sustitución del R-22

Fuente: DANFOSS

2.2.11. Criterios para la Reconversión

Cuando se planea una reconversión o sustitución de gas, en sistemas de R22 con aceite mineral, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Realizar un análisis concienzudo de la instalación y de los costos de la reconversión.
- Tener en cuenta el tiempo de la instalación y de sus componentes principales.
- Estimar cuánto tiempo más puede estar funcionando la instalación y que componentes pueden requerir un cambio en breve; esto va a tener una gran influencia en la elección del mejor proceso de reconversión.

La reconversión lleva asociada una pérdida de capacidad frigorífica

Esto es parcialmente debido a las propiedades termodinámicas del nuevo refrigerante, además el gran desplazamiento de algunas mezclas, puede provocar una reducción de capacidad de los intercambiadores de calor de hasta el 7%. La miscibilidad parcial del aceite con las mezclas refrigerantes puede hacer perder hasta otro 5% de capacidad en el intercambio de calor. La reducción de la capacidad frigorífica puede tener distintas consecuencias en cada una de las instalaciones en las que se realice una reconversión del gas refrigerante actual (R-22).

2.2.12. Procedimiento para la sustitución del R-22

Existen 4 procedimientos para la sustitución:

- Sustitución directa (Drop –in): El refrigerante HCFC se reemplaza por el alternativo sin ningún cambio adicional que el de las etiquetas con nombre del nuevo refrigerante y las cantidades.
- Reconversión menor (Light retrofit), El aceite y los filtros se cambian.

- Reconversión estándar (Standard retrofit): Como en el punto anterior pero con un segundo cambio aceite.
- Reconversión profunda (Heavy retrofit): (la más aconsejable) El circuito se limpia y se cambia la válvula de expansión. Se cambian el aceite y el filtro deshidratador. En este caso, la mejor opción es cambiar también el Compresor.

Las siguientes tablas, presentan cada uno de los procedimientos anteriores:

Aplicaciones de aire acondicionado con R22 y aceite mineral					
Aplicación	Sistema de expansión	Nuevo refrigerante	Procedimiento	Pérdida de capacidad	Comentarios
Todas	Capilar	R417A	Drop-in	25%	Sin cambios en el capilar
		R417A	Light retrofit	20%	
		R427A	Standard retrofit	10%	
		R407C	Heavy retrofit	5%	
Unidades de ventana y sistemas splits sencillos	Válvula de expansión termostática (TEV)	R417A	Drop-in	25%	Aplicaciones sin recipiente de líquido
		R422B	Drop-in	15%	Ajustar la TEV
		R422D	Light retrofit	10%	
		R427A	Light retrofit	10%	
Otros tipos	Válvula de expansión termostática (TEV)	R407C	Heavy retrofit	5%	Ajustar la TEV
		R422D	Light retrofit	10%	
		R427A	Standard retrofit	10%	

Aplicaciones de refrigeración con R22 y aceite mineral					
Aplicación	Sistema de expansión	Nuevo refrigerante	Procedimiento	Pérdida de capacidad	Comentarios
Todas	Capilar	R417A	Drop-in	25%	Sin cambios en el capilar
		R417A	Light retrofit	20%	
		R427A	Standard retrofit	15%	
		R404A	Heavy retrofit	5%	Capilar - 20 %
Unidades compactas	Válvula de expansión termostática (TEV)	R417A	Drop-in	25%	Aplicaciones sin recipiente de líquido
		R422D	Drop-in	20%	Ajustar la TEV
		R422D	Light retrofit	15%	
		R427A	Light retrofit	10%	Sustituir la TEV
		R422A*	Heavy retrofit	5%	
Otros tipos	Válvula de expansión termostática (TEV)	R404A	Heavy retrofit	5%	Ajustar la TXV
		R422D	Light retrofit	15%	
		R427A	Standard retrofit	10%	
		R422A*	Heavy retrofit	5%	
		R40AA	Heavy retrofit	3%	Sustituir TXV

* R422A proporciona unas buenas prestaciones en aplicaciones de refrigeración comercial y en máquinas de fabricación de hielo.

Tabla 3. Aplicaciones de aire acondicionado

2.2.13. Sustitución de componentes principales

- Juntas (o-Ring): Sustituir las juntas por juntas nuevas para evitar fugas (por ejemplo juntas tóricas en solenoides).
- Filtro deshidratador: Utilizar filtros deshidratadores de tamiz molecular hasta conseguir un nivel de humedad < 100 ppm.
- Válvulas de seguridad: Sustituir las válvulas de seguridad cuando las nuevas presiones de trabajo máximo lo requieran.

2.2.13.1. Ajustes

- Equipos de control: Nuevos ajustes de presión y T°.
- Equipos de seguridad: Nuevos ajustes de presión y T°.
- Válvulas de expansión: Sustituir en la mayor parte de los chasis. Ajustar el recalentamiento (utilizar T° de aspiración saturada en el punto de rocío).

2.2.14. Reciclaje y Regeneración

Para el reciclaje eficaz de los refrigerantes recuperado se utilizan varias unidades de rectificación en columna de relleno de funcionamiento continuo, que permiten separar el aceite, eliminar la humedad, partículas y acidez así como separar los incondensables permitiendo obtener producto en perfectas condiciones químicas para devolver al cliente cumpliendo con las especificaciones ARI700.

2.2.14.1. Destrucción

La destrucción de gases refrigerantes se realiza mediante una combustión en horno rotatorio a una T° superior a los 1200°. Después de esta primera combustión pasan a un depósito post combustión el cual se encuentra también a una T° aproximada de 1200°C sufriendo una 2° combustión completa.

Los vapores producidos contienen moléculas en estado fundamental las cuales se someten a un enfriamiento súbito mediante una corriente de nitrógeno solubilizándose a posteriori con agua, dando lugar a una formación de aguas acidas las cuales se neutralizan con sales minerales para sus posterior tratamiento biológico.

2.2.14.2. Envases Recuperación

Normalmente estas botellas van dotadas con válvula de doble vía, que permite su incorporación a los sistemas de reciclaje fácilmente, y la posterior limpieza de envase. Están pintadas de verde para evitar la confusión con otras botellas de refrigerante, lógicamente han de soportar la presión de los gases que van a contener.

Las botellas de recuperación no deben sobrecargarse de residuo por que podría originar perdidas por la válvula de seguridad del recipiente debido al aumento de presión del mismo.”[4]

2.2.14.3. Transporte

Los R-22 recuperados o reciclados, lo pueden transportan con normalidad en sus respectivos balones y en sus jvas, llevadas al entre actuador en reciclar los refrigerante contaminantes. Existen varias empresas en México que se dedican a su disposición final del refrigerante. En el Perú no hay empresas que se dediquen al transporte y destrucción de este refrigerante recuperado; así que se recurrirá llevar el R-22 recuperado al ministerio del Ambiente para que se designe la disposición final del refrigerante.

2.2.15. El uso de R407C en sistemas de aire acondicionado

“El R407C ha demostrado ser particularmente útil cuando se convierten sistemas con compresores herméticos. Esto ha conducido a muchas reconversiones de equipos Split, pero hasta la fecha no se han realizado estudios formales.

Un fabricante de origen alemán, especialista en sistemas para el control del clima, realizó un estudio y comparó el R417A con el R407C. La unidad utilizaba tres compresores scroll Copeland y su diseño fue muy compacto. Como resultado de este diseño compacto, la unidad operó en condiciones de alta temperatura de condensación (55° C). En la Tabla 4 se pueden apreciar los resultados.

Parameter	Unit	R22	R417A	R407C
Condenser Air inlet	°C	36.2	35.8	35.8
Condenser Air outlet	°C	48.2	46.8	47.6
Evaporator Air inlet	°C	23.9	24.3	24.3
Evaporator Air outlet	°C	14.2	14.8	14.6
Discharge temperature	°C	98.5	72.7	88.6
Condensation pressure	bar/°C	19.5 / 52.5	18.5 / 55.5	21.3 / 55.5
Suction pressure	bar/°C	4.7 / 4.5	4.4 / 7.6	4.6 / 6
Humidity out	%	38	39	41
Humidity in	%	63	67	65
Power requirement	kW	5.1	4.6	5.4
Capacity	kW	14.7	13.8	14.6

Tabla 4. Detalle de resultados en pruebas realizadas.

Los resultados de la Tabla 4 muestran que las condiciones de operación son virtualmente idénticas para todos los refrigerantes excepto por dos parámetros claves. La presión de condensación del R407C es significativamente mayor que el R22 y el requerimiento de energía para el R417A es significativamente menor que el R22 (-10.9 %) y comparado con el R407C (-17.4 %). Incluso aún, la capacidad para el R417A es ligeramente más baja que

el R22 (-6.5 %), el COP es más alto para el R417A (3.00) que para el R22 (2.88) o R407C (2.70).

Conditions Outdoor/Indoor	R407C		R417A		% Change from R407C	
	Capacity/kW	COP	Capacity/kW	COP	Capacity	COP
7°C/35°C	9.54	2.55	9.43	3.46	-1.2%	35.7%
2°C /35°C	7.79	2.09	6.83	2.61	-12.3%	24.7%

Tabla 5. Comparación de resultado R407C y R417A.

La unidad probada con R407C tuvo que ser optimizada para el uso con R407C, sin embargo la unidad probada con R417A fue una unidad equipada originalmente con R22. Las únicas modificaciones realizadas fueron la reposición del control de desescarche. Se puede ver claramente que aunque se use un refrigerante del tipo "aplicación directa" ("Drop in") la capacidad del R417A es menor que el R407C en un sistema optimizado, el COP del R417A es mucho mayor. Esa reducción en la capacidad significará que el sistema funcionará un mayor tiempo para obtener la temperatura deseada, pero la diferencia en el COP es tan grande que el consumo de energía será menor para el R417A.” [4]

2.2.16. Compresor

“Los compresores alternativos como los centrífugos se encuentran en el mercado formando equipos herméticos que incluyen estos motores cerrados son de un tipo distinto al convencional, porque están enfriados por el mismo líquido o vapor refrigerante, a temperaturas mucho más bajas que el aire empleado para enfriar los motores abiertos. Estos motores pueden trabajar con mayores temperaturas de régimen pero sin llegar a superar la máxima temperatura admitida a las condiciones de diseño.

Como el trabajo de estos motores cerrados (frecuentes paradas y puestas en marcha) es distinto al normal, no suelen clasificarse por su potencia de régimen permanente, sino por

las intensidades de arranque y de plena carga. El significado de esta clasificación se observa con claridad en el momento de seleccionar los equipos.

No hay ninguna norma general para designar el tamaño de los compresores herméticos. Anteriormente, se indicaban los tamaños de compresor en HP (CV), pero esta unidad de medida no representaba una definición clara de las características de refrigeración.

Los compresores herméticos se diseñan para ser empleados en ciclos de refrigeración por compresión de vapor y se clasifican de acuerdo con la presión correspondiente a la gama de temperaturas de evaporación en la cual el compresor funciona, dentro de la categoría de aplicación de alta, media y baja presión.

“El condensador y evaporador son intercambiadores de calor, y pueden llevar asociado un ventilador para forzar el paso de aire a través de ellos”



Figura 21. Cuerpo del compresor

Consiste en forzar mecánicamente la circulación de un fluido en un circuito cerrado creando zonas de alta y baja presión con el propósito de que el fluido en un circuito cerrado creando zonas de alta y baja presión con el propósito de que el fluido absorba calor en un lugar y lo disipe en el otro.

El proceso de refrigeración implica un circuito cerrado, y al refrigerante no se le deja expandirse al aire libre.

Cuando el refrigerante va hacia el evaporador, éste es alimentado por un tanque. La presión en el tanque será alta, hasta que su presión se iguale a la del evaporador. Por esto la circulación del refrigerante cesará y la temperatura tanto en el tanque como en el evaporador se elevará gradualmente hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Para mantener una presión menor y con esto una temperatura más baja, es necesario sacar el vapor del evaporador. Esto lo realiza el compresor el cual lo aspira. En términos sencillos, el compresor se puede comparar a una bomba que transporta vapor en el circuito del refrigerante.

En un circuito cerrado a la larga prevalece una condición de equilibrio. Para ampliar más este concepto tenemos que ver si el compresor aspira vapor más rápidamente, que el que se puede formar en el evaporador, la presión descenderá y con esto la temperatura en el evaporador. Por el contrario, si la carga en el evaporador se eleva, el refrigerante se evaporará más rápidamente lo que producirá una mayor presión y por esto una mayor temperatura en el evaporador. El refrigerante sale del evaporador, o bien como vapor saturado o ligeramente recalentado y entra en el compresor donde es comprimido.

Ver figuras 22 y 23.

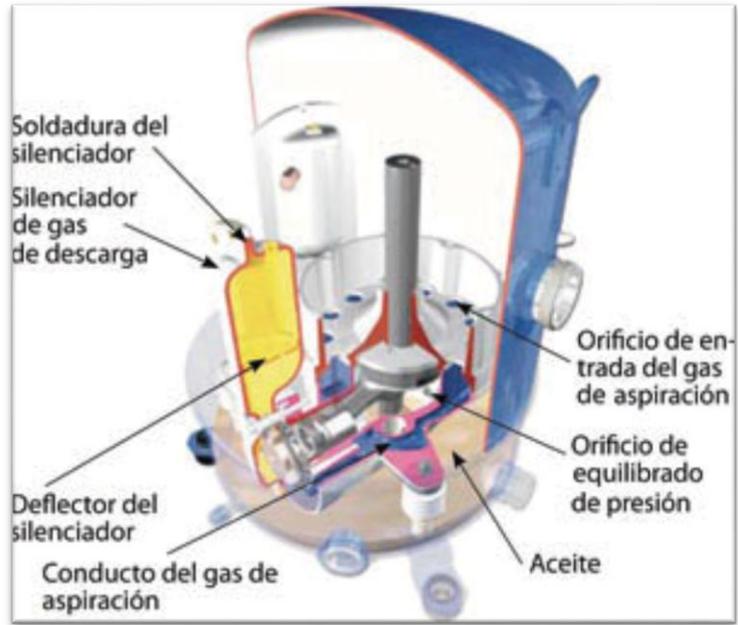


Figura 22. Circulación de gas

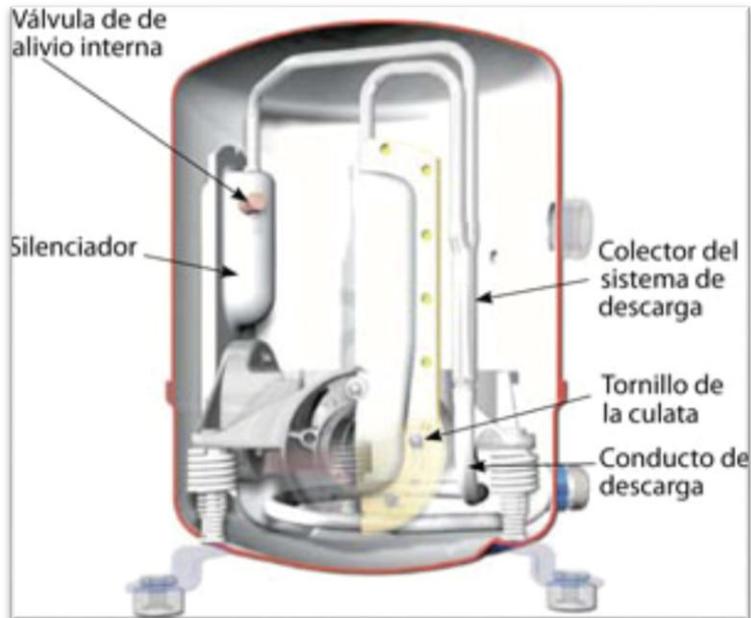


Figura 23. Sistema de descarga

2.2.17. Ciclo frigorífico de compresión

El método de producción de frío en las máquinas de fluidos condensables está basado en los cambios de estado (líquido-gas y gas-líquido) de una sustancia (fluido refrigerante) en un circuito cerrado. Para ello se aprovecha la cualidad que presentan los fluidos, (proceso Termodinámico). La temperatura necesaria para producir el cambio de estado del fluido Refrigerante, dependerá de la presión a la que los fluidos se encuentren dentro de las condiciones de operación; es decir a baja presión la temperatura es baja, y si se eleva la presión, la temperatura aumenta.

El motivo de aprovechar los cambios de estado es porque los calores latentes (cambio de estado) son mayores que los calores sensibles (cambio de temperatura), con la consiguiente disminución de la cantidad de fluido refrigerante y la capacidad de los equipos frigoríficos.

El modo de obtención de frío con este sistema describe un ciclo teórico que podemos resumir de la siguiente manera:

- Se comprime el refrigerante en estado gaseoso mediante un compresor, de modo que se eleva la presión y temperatura del gas.
- Se hace circular el fluido (gas) por un condensador, en él se condensa el refrigerante a presión constante (líquido), cediendo calor al medio exterior, normalmente aire o agua.
- Se pasa el líquido refrigerante por una etapa de expansión donde pierde presión y temperatura evaporándose una pequeña fracción del líquido.
- El refrigerante con bajas temperaturas y presión se pasa por un evaporador en el que el refrigerante se evapora (gas), absorbiendo calor del medio exterior y logrando así el efecto frigorífico deseado.
- Finalmente se vuelve a comprimir el gas, reiniciando el ciclo.

El compresor, normalmente está accionado por un motor eléctrico, y en equipos de pequeña potencia casi en exclusiva son moto compresores herméticos accionados por motores asíncronos monofásicos.

El condensador y evaporador son intercambiadores de calor, y pueden llevar asociado un ventilador para forzar el paso de aire a través de ellos, para lograr completar nuestro ciclo de refrigeración. (Ver figura 24).

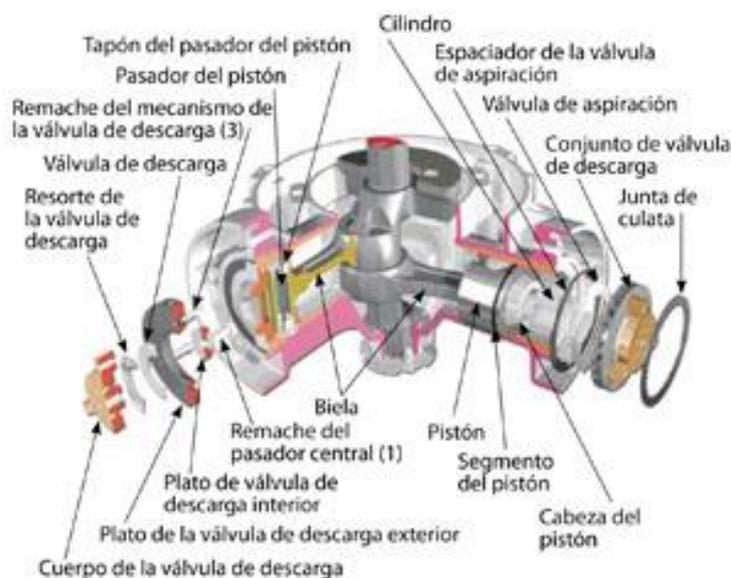


Figura 24. Sistema de compresión

2.2.18. Aditamentos Eléctricos

Los fabricantes de motores destinados a equipos de refrigeración herméticos montan los conjuntos de rotor y estator dentro de una carcasa común al compresor, y le adaptan los cojinetes adecuados. Los bobinados están perfectamente aislados y garantizados, especialmente en los motores de gran tamaño. Los motores pequeños suelen ser monofásicos y como no pueden utilizarse contactos capaces de producir chispas, suelen ser tipo de fase partida con los capacitores e interruptores situados en el exterior del compresor (Caja de Conexiones). (Ver figura 25).



Figura 25. Conexión eléctrica

Los motores de estas unidades suelen ser motores asíncronos monofásicos (Single-Phase Induction Motors, SPIM), y debido a su nulo par de arranque, necesitan un sistema auxiliar para su puesta en marcha, que puede lograrse con diferentes dispositivos, como lo son los relés o interruptores Centrífugos.

Cada uno de ellos le confiere al motor características de funcionamiento distintas.

Un problema que presentan los compresores monofónicos o bifásicos es que generan un campo magnético pulsante, por lo que tienen un par de arranque nulo, motivo por el que no son capaces de ponerse en marcha por sí mismos.

Para provocar el arranque en estos motores se les dota de un devanado auxiliar de arranque (start, S) con un desfase respecto al principal (run, R), de modo que entre este devanado auxiliar y el principal se proporciona el par necesario en el arranque, y una vez producido éste, se puede desconectar el devanado auxiliar.

Estos motores monofásicos respecto a los trifásicos presentan la ventaja de poder conectarse a la red básica de distribución de electricidad, lo que hace que sea adecuado para aplicaciones domésticas.

La manera más rápida de seleccionar o sustituir un compresor es mediante las tablas y curvas de características de funcionamiento que aportan los fabricantes, que no sólo presentan las capacidades y las condiciones de evaluación, sino que dan la capacidad y potencia para una variedad de temperatura de evaporación y condensación.

Pero hay que decir que éstas constituyen un promedio de la evaluación en laboratorio con equipos diseñados para mediar las condiciones de operación comúnmente llamadas calorímetro.

Investigaciones recientes, muestran cómo la capacidad frigorífica dada por el catálogo de algunos fabricantes es superior a la real.

La evidencia fue demostrada a través de la información de los catálogos, el cálculo y la experimentación y los conceptos existentes entre el recalentamiento útil y recalentamiento total. El recalentamiento total está formado por el producto en la línea de aspiración y el producido en el evaporador (denominado recalentamiento útil), siendo este último el único que contribuye a aumentar la capacidad frigorífica útil. (Ver figura 26).

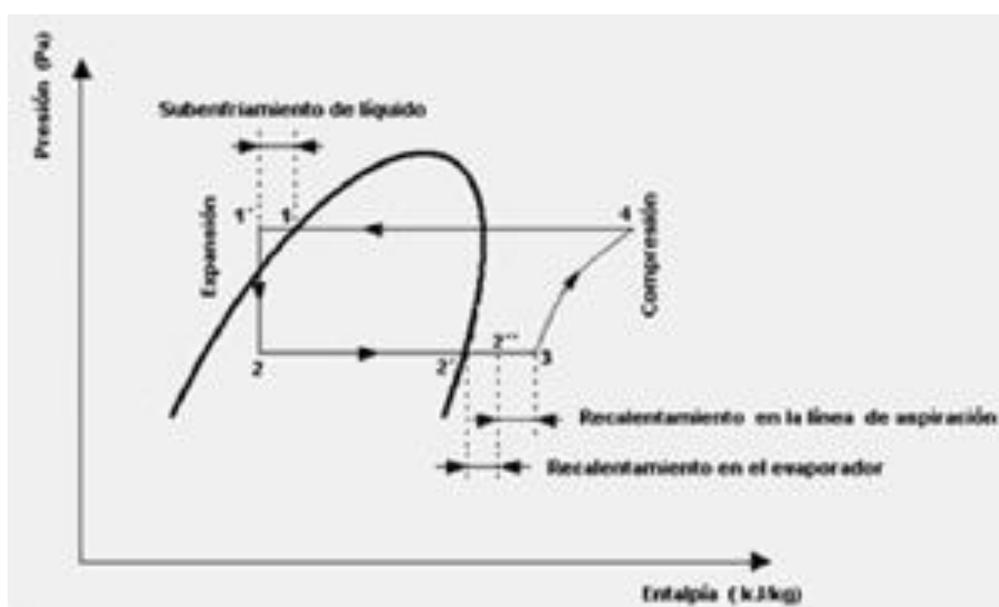


Figura 26. Recalentamiento útil y recalentamiento en la línea de aspiración.

2.2.19. Recomendaciones de buen uso del compresor

Para asegurar una larga vida útil de compresor deben evitarse las condiciones de funcionamiento fuera de diseño que conducen a una descomposición térmica de los materiales utilizados en el compresor.

Algunos materiales utilizados que afectan la vida útil de compresor son los siguientes: Gas Refrigerante, tipo de aceite y los materiales para el aislamiento del motor.

Ejemplos:

Al seleccionar un compresor tenemos que tener bien definido la aplicación y uso que se le dará a nuestro equipo, ya que con eso podremos definir el tipo de gas refrigerante que emplearemos, así como el tipo de aceite adecuado, de no tomar en cuenta esta recomendación estamos garantizando un problema a corto plazo en nuestro compresor.

El aislamiento del motor está formado por el esmalte para el bobinado de cobre, el cual soporta una temperatura interna dentro del compresor (valores definidos de fábrica), si esta sobrepasa la temperatura de diseño, ocasionará que se generen arcos eléctricos, y por consiguiente daños severos en el compresor.

Máquinas que aplican la refrigeración por compresión” [5]

- Aire acondicionado o acondicionador de aire
- Refrigerador doméstico, nevera o frigorífico
- Enfriador de agua
- Fábrica de hielo
- Cámara de refrigeración

2.3. Marco Conceptual

- ASHRAE: Significa Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.

- Azeótropo: De temperatura constante. Mezcla única, de dos o más sustancias químicas, que destila a una cierta temperatura constante y tiene una composición constante a una presión determinada. Un Azeótropo se comporta como un fluido puro.

- Bomba de vacío: Dispositivo especial de alta eficiencia, utilizado para crear alto vacío para fines de deshidratación o de pruebas.

- BTU: Cantidad de calor que se requiere para elevar un grado Fahrenheit, la temperatura de una libra de agua.

- CFC: Clorofluorocarbonos, sustancias químicas orgánicas compuestas por cloro, flúor y carbono. Estas sustancias completamente halogenadas se usan comúnmente en refrigeración, espumados, aerosoles, esterilizantes, solventes de limpieza y en una variedad de aplicaciones. Los CFC tienen el potencial de destruir las moléculas de ozono en la estratosfera y son una de las principales causas del agotamiento de la capa de ozono.

- Climatización: acción y efecto de climatizar, es decir de dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa, calidad del aire y, a veces, también de presión, necesarias para el bienestar de las personas y/o la conservación de las cosas.

- Compresor hermético: Unidad motocompresora en la que el motor eléctrico y el compresor, están montados en una flecha común, dentro de un casco de acero soldado. El motor eléctrico opera en la atmósfera de refrigerante.

- COP: Coefficient of Performance es el cociente entre el frío obtenido y el trabajo de compresión. Mide la eficiencia del sistema en términos de frigorías obtenidas por cada KW hora consumido en el compresor. En otras palabras, interesa siempre que el refrigerante tenga el valor del COP lo más alto posible.

- Deshumidificador: Dispositivo usado para remover la humedad del aire.

- Fan Coils: es un sistema de acondicionamiento y climatización. Suple a los sistemas centralizados que requieren de grandes superficies para instalar sus equipos.

- GWP: El Global Warning Potencial mide la capacidad de una sustancia para producir efecto invernadero o de calentamiento global del planeta. Todos los gases refrigerantes contribuyen al calentamiento de la tierra. A partir del Protocolo de Kyoto existen unos compromisos por parte de la Unión Europea para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

- HCFC (Hidroclorofluorocarbonos): Familia de sustancias químicas hidrogenadas relacionadas con los CFC, que contienen hidrógeno así como cloro, flúor y carbono. El hidrógeno que contienen hace que su vida en la atmósfera se reduzca haciendo que, a largo plazo, los HCFC sean menos nocivos que los CFC.

- Mezclas Zeotrópicos: Se llaman así a las mezclas formadas por dos o más componentes (refrigerantes puros) de diferente volatilidad.

- Poliestireno: Plástico utilizado como aislante, en algunas estructuras refrigeradas.

- Potencial de Agotamiento del Ozono (PAO): Medida de la capacidad que posee una sustancia para destruir el ozono estratosférico, que se basa en su duración en la atmósfera, estabilidad, reactividad y contenido de elementos que pueden atacar al ozono, como cloro y bromo. Todo los PAO se basa en una medida de referencia, que es 1 para el CFC-11.

- Potencial de Calentamiento Global (PCG): Define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce una liberación instantánea hoy de 1kg de un gas de efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO₂. Está basado en un tiempo horizonte de 100 años; por ejemplo, la emisión de 1kg de R-134a es equivalente a la emisión de 1300kg de CO₂.

- Protocolo de Montreal (PM): Protocolo del Convenio de Viena, firmado en 1987, en el que las Partes se comprometen a tomar medidas concretas para proteger la capa de ozono mediante el congelamiento, reducción y eliminación de la producción y el consumo de sustancias controladas.

- Recuperación de refrigerantes: Recuperar es extraer un fluido refrigerante de un sistema con el fin de ser almacenado, reciclado, regenerado o transportado.

(Juan Pablo Plazas Monroy)

- Recuperación de gas refrigerante Extracción de un refrigerante, en el estado físico en que se encuentre en un sistema (vapor, líquido o mezclado con otras sustancias), para almacenarlo en un recipiente externo (definición ISO 11650).

- Retroadaptación o retrofit: Proceso por el que se reemplazan los refrigerantes CFC y HCFC con refrigerantes que no agotan la capa de ozono, en equipos de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor existentes. Este procedimiento requiere modificaciones, como cambio de lubricante, del dispositivo de expansión o del compresor. Los refrigerantes sustitutos que se agregan directamente no requieren cambios.

- Roció: Humedad atmosférica condensada, depositada en forma de pequeñas gotas sobre las superficies frías.

- Serpentín de aire: Serpentín en algunos tipos de bombas de calor, utilizado ya sea como evaporador o como condensador

- Split: Instalación de refrigeración o aire acondicionado, en el que se coloca la unidad de condensación fuera o lejos del evaporador. También se aplica a instalaciones de bomba de calor.

- Sobrecalentamiento: Temperatura del vapor en el punto máximo de su T° de ebullición (saturación) a la misma presión. Resulta de la diferencia entre la temperatura a la salida del evaporador, y la temperatura más baja del refrigerante, que se está evaporando en el evaporador.

CAPITULO III: PROPUESTA Y CÁLCULO DEL COSTO DE LA SUSTITUCIÓN DEL REFRIGERANTE R22 POR UN REFRIGERANTE R407C.

3.1. Propuesta de Sustitución de refrigerante para el R-22.

3.1.1. Establecer los parámetros iniciales de referencia con R22.

“Recoger los datos de parámetros, cuando el R22 del sistema se encuentre estable. Comprobar la carga correcta de refrigerante y las condiciones de funcionamiento. Los datos de referencia de las temperaturas y de las presiones en diversos puntos del sistema (Evaporador, condensador, aspiración y descarga del compresor y el cálculo del sobrecalentamiento y del subenfriamiento).

3.1.2. Registrar los parámetros de funcionamiento:

La carga existente deberá ser evacuada del sistema y recogida dentro de un cilindro de recuperación por medio de un dispositivo capaz de bombear en vacío Hg (50-65 kPa ABS). Si se desconoce el tamaño de la carga recomendada para el sistema, pesar la cantidad de refrigerante extraído. Comprobar que se ha evacuado todo e refrigerante residual disuelto en el aceite del compresor

Manteniendo el sistema en vacío. Quitar el vacío con nitrógeno seco.

3.1.3. Sustituir el filtro deshidratador (o filtro secador)

La sustitución del filtro deshidratador es una práctica rutinaria durante el mantenimiento del sistema.

3.1.4. Evacuar el sistema y comprobar las fugas.

Para extraer el aire u otros elementos incondensables y cualquier humedad residual del sistema, evacúe el sistema hasta alcanzar casi el vacío completo (29,9 en Hg de vacío 500 micras o menos de 0,1 kPa ABS, aíse la bomba de vacío del sistema y observe la lectura del vacío. Si el sistema no mantiene el vacío, es una indicación de que puede haber una fuga.

Aplicar presión en el sistema utilizando nitrógeno, con la precaución de no superar la presión máxima admitida por el sistema, y de refrigerante bajo presión máxima admitida por el sistema, y busque las fugas.

3.1.5. Rellenar con R-407C

Cargar en fase líquida desde el cilindro de carga. (Si el cilindro no dispone de una válvula con sonda, invierta el cilindro de modo que la válvula se encuentre por debajo del cilindro).

3.1.6. Encender el sistema, ajustar el tamaño de la carga

Encender el sistema y dejar que se estabilice. Si el sistema se encuentra por debajo de la carga (según se indica en el nivel de sobrecalentamiento a la salida del evaporador o mediante la cantidad de subenfriamiento a la salida del condensador)

3.1.7. Controlar los niveles de aceite

Durante el funcionamiento inicial del sistema, es muy importante controlar el nivel de aceite dentro del compresor (o del sistema de gestión del aceite del compresor).

Si el nivel de aceite desciende por debajo del mínimo permitido, rellene hasta el nivel mínimo con el mismo tipo de aceite. No lo llene hasta el nivel máximo, ya que el nivel puede subir de nuevo.

- En caso de que el retorno de aceite se muestre errático por grandes variaciones del nivel de aceite durante el ciclo del sistema de refrigeración, se recomienda extraer algo de aceite del sistema y sustituirlo por aceite poliéster. La sustitución de hasta el 30% del aceite por poliéster ayudará a restablecer la estabilidad del retorno del aceite. La cantidad exacta de aceite que debe ser sustituido dependerá del mismo sistema (temperaturas de evaporación, geometría física, etc.)
- El lubricante poliéster debe ser agregado progresivamente al sistema. Se debe realizar una introducción inicial del 10 - 20% (de la carga total de aceite). Esta deberá ser seguida por sucesivos pequeños incrementos hasta que el nivel de aceite recupere la normalidad de manera constante a lo largo del ciclo de funcionamiento del sistema de refrigeración. • Es importante garantizar que, al agregar aceite poliéster al sistema, el nivel de aceite (inmediatamente después de agregarlo) se mantenga por debajo del punto medio del nivel de aceite del sistema (por ej. a la mitad del visor).

3.1.8. Colocar una etiqueta en el sistema para identificar

Es importante registrar los cambios de refrigerante y de cualquier otro componente (incluido del aceite lubricante) en la documentación del sistema (libro de registro).”[6]

3.2. Aplicación de los cálculos para R-22 y R-407C.

Para el R-22

Caso 1: $T_{\text{evap}} = -20^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{cond}} = 40^{\circ}\text{C}$

De la tabla de Presión-Entalpia,

$$H_1 = 397.4 \text{ kJ/kg (} T_{\text{evap}})$$

$$H_3 = H_4 = 249.8 \text{ kJ/kg (} T_{\text{cond}})$$

$$H_2 = H_1 + \Delta H_L$$

$$\Delta H_L = 220.4 - 166.9 = 53.5 \text{ kJ/kg}$$

$$H_2 = 397.4 + 53.5 = 450.9 \text{ kJ/kg (} T_{\text{Sob}})$$

Efecto Refrigerante (ER):

$$ER = h_1 - h_4 = 397.4 - 249.8 = 147.6 \text{ kJ/kg}$$

Trabajo del compresor (W_c):

$$W_c = h_2 - h_1 = 450.9 - 397.4 = 53.5 \text{ kJ/kg}$$

Calor de condensación (Q_r):

$$Q_r = h_2 - h_3 = 450.9 - 249.8 = 201.1 \text{ kJ/kg}$$

Coefficiente de Performance (COP):

$$COP = \frac{ER}{W_c} = \frac{147.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{53.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 2.76$$

Caso 2: $T_{\text{evap}} = -10^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{cond}} = 40^{\circ}\text{C}$

De la tabla de saturación de Presión-Entalpia,

$$H_1 = 401.6 \text{ kJ/kg (} T_{\text{evap}})$$

$$H_3 = H_4 = 249.8 \text{ kJ/kg (} T_{\text{cond}})$$

$$H_2 = H_1 + \Delta H_L$$

$$\Delta H_L = 213.2 - 166.9 = 46.3 \text{ kJ/kg}$$

$$H_2 = 401.6 + 46.3 = 447.9 \text{ kJ/kg (} T_{\text{Sob}})$$

Efecto Refrigerante (ER):

$$ER = h_1 - h_4 = 401.6 - 249.8 = 151.8 \text{ kJ/kg}$$

Trabajo del compresor (W_c):

$$W_c = h_2 - h_1 = 447.9 - 401.6 = 46.3 \text{ kJ/kg}$$

Calor de condensación (Q_r):

$$Q_r = h_2 - h_3 = 447.9 - 249.8 = 198.1 \text{ kJ/kg}$$

Coefficiente de Performance (COP):

$$COP = \frac{ER}{W_c} = \frac{151.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{46.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 3.28$$

Caso 3: $T_{\text{evap}} = 0^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{cond}} = 40^{\circ}\text{C}$

De la tabla de saturación de Presión-Entalpia,

$$H_1 = 405.4 \text{ kJ/kg (} T_{\text{evap}})$$

$$H_3 = H_4 = 249.8 \text{ kJ/kg (} T_{\text{cond}})$$

$$H_2 = H_1 + \Delta H_L$$

$$\Delta H_L = 205.4 - 166.9 = 38.5 \text{ kJ/kg}$$

$$H_2 = 405.4 + 38.5 = 443.9 \text{ kJ/kg (} T_{\text{Sob}})$$

Efecto Refrigerante (ER):

$$ER = h_1 - h_4 = 405.4 - 249.8 = 155.6 \text{ kJ/kg}$$

Trabajo del compresor (W_c):

$$W_c = h_2 - h_1 = 443.9 - 405.4 = 38.5 \text{ kJ/kg}$$

Calor de condensación (Q_r):

$$Q_r = h_2 - h_3 = 443.9 - 249.8 = 194.1 \text{ kJ/kg}$$

Coefficiente de Performance (COP):

$$COP = \frac{ER}{W_c} = \frac{155.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{38.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 4.04$$

Caso 4: $T_{\text{evap}} = 10^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{cond}} = 40^{\circ}\text{C}$

De la tabla de saturación de Presión-Entalpia,

$$H_1 = 408.9 \text{ kJ/kg } (T_{\text{evap}})$$

$$H_3 = H_4 = 249.8 \text{ kJ/kg } (T_{\text{cond}})$$

$$H_2 = H_1 + \Delta H_L$$

$$\Delta H_L = 197.0 - 166.9 = 30.1 \text{ kJ/kg}$$

$$H_2 = 408.9 + 30.1 = 439.00 \text{ kJ/kg } (T_{\text{Sob}})$$

Efecto Refrigerante (ER):

$$ER = h_1 - h_4 = 408.9 - 249.8 = 159.1 \text{ kJ/kg}$$

Trabajo del compresor (W_c):

$$W_c = h_2 - h_1 = 439.0 - 408.9 = 30.1 \text{ kJ/kg}$$

Calor de condensación (Q_r):

$$Q_r = h_2 - h_3 = 439.0 - 249.8 = 189.2 \text{ kJ/kg}$$

Coefficiente de Performance (COP):

$$COP = \frac{ER}{W_c} = \frac{159.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{30.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 5.29$$

Para el R-407C

Caso 1: $T_{\text{evap}} = -20^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{cond}} = 40^{\circ}\text{C}$

De la tabla de Presión-Entalpia,

$$H_1 = 403.9 \text{ kJ/kg (} T_{\text{evap}})$$

$$H_3 = H_4 = 262.1 \text{ kJ/kg (} T_{\text{cond}})$$

$$H_2 = H_1 + \Delta H_L$$

$$\Delta H_L = 230.8 - 171.7 = 59.1 \text{ kJ/kg}$$

$$H_2 = 403.9 + 59.1 = 463.0 \text{ kJ/kg (} T_{\text{Sob}})$$

Efecto Refrigerante (ER):

$$ER = h_1 - h_4 = 403.9 - 262.1 = 141.8 \text{ kJ/kg}$$

Trabajo del compresor (W_c):

$$W_c = h_2 - h_1 = 463.0 - 403.9 = 59.1 \text{ kJ/kg}$$

Calor de condensación (Q_r):

$$Q_r = h_2 - h_3 = 463.0 - 262.1 = 200.9 \text{ kJ/kg}$$

Coficiente de Performance (COP):

$$COP = \frac{ER}{W_c} = \frac{141.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{59.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 2.40$$

Caso 2: $T_{\text{evap}} = -10^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{cond}} = 40^{\circ}\text{C}$

De la tabla de saturación de Presión-Entalpia,

$$H_1 = 410.0 \text{ kJ/kg (} T_{\text{evap}})$$

$$H_3 = H_4 = 262.1 \text{ kJ/kg (} T_{\text{cond}})$$

$$H_2 = H_1 + \Delta H_L$$

$$\Delta H_L = 223.7 - 171.7 = 52.0 \text{ kJ/kg}$$

$$H_2 = 410.0 + 52.0 = 462.0 \text{ kJ/kg (} T_{\text{Sob}})$$

Efecto Refrigerante (ER):

$$ER = h_1 - h_4 = 410.0 - 262.1 = 147.9 \text{ kJ/kg}$$

Trabajo del compresor (W_c):

$$W_c = h_2 - h_1 = 462.0 - 410.07 = 52.0 \text{ kJ/kg}$$

Calor de condensación (Q_r):

$$Q_r = h_2 - h_3 = 462.0 - 262.1 = 199.9 \text{ kJ/kg}$$

Coefficiente de Performance (COP):

$$COP = \frac{ER}{W_c} = \frac{147.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{52.0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 2.84$$

Caso 3: $T_{\text{evap}} = 0^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{cond}} = 40^{\circ}\text{C}$

$$H_1 = 415.7 \text{ kJ/kg (} T_{\text{evap}})$$

$$H_3 = H_4 = 262.1 \text{ kJ/kg (} T_{\text{cond}})$$

$$H_2 = H_1 + \Delta H_L$$

$$\Delta H_L = 215.7 - 171.7 = 44.0 \text{ kJ/kg}$$

$$H_2 = 415.7 + 44.0 = 459.7 \text{ kJ/kg (} T_{\text{Sob}})$$

Efecto Refrigerante (ER):

$$ER = h_1 - h_4 = 415.7 - 262.1 = 153.6 \text{ kJ/kg}$$

Trabajo del compresor (W_c):

$$W_c = h_2 - h_1 = 459.7 - 415.7 = 44.0 \text{ kJ/kg}$$

Calor de condensación (Q_r):

$$Q_r = h_2 - h_3 = 459.7 - 262.1 = 197.6 \text{ kJ/kg}$$

Coefficiente de Performance (COP):

$$COP = \frac{ER}{W_c} = \frac{153.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{44.0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 3.49$$

Caso 4: $T_{\text{evap}} = 10^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{cond}} = 40^{\circ}\text{C}$

De la tabla de saturación de Presión-Entalpia,

$$H_1 = 421.1 \text{ kJ/kg (} T_{\text{evap}})$$

$$H_3 = H_4 = 262.1 \text{ kJ/kg (} T_{\text{cond}})$$

$$H_2 = H_1 + \Delta H_L$$

$$\Delta H_L = 206.8 - 171.7 = 35.1 \text{ kJ/kg}$$

$$H_2 = 421.1 + 35.1 = 456.2 \text{ kJ/kg (} T_{\text{Sob}})$$

Efecto Refrigerante (ER):

$$ER = h_1 - h_4 = 421.1 - 262.1 = 159.0 \text{ kJ/kg}$$

Trabajo del compresor (W_c):

$$W_c = h_2 - h_1 = 456.2 - 421.1 = 35.1 \text{ kJ/kg}$$

Calor de condensación (Q_r):

$$Q_r = h_2 - h_3 = 456.2 - 262.1 = 194.1 \text{ kJ/kg}$$

Coefficiente de Performance (COP):

$$COP = \frac{ER}{W_c} = \frac{159.0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{35.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 4.53$$

3.3 Revisión y Consolidación de Resultados

Cuadros comparativos de resultados:

Tabla Comparativa del caso 1		
Tevap = -20°C y Tcond= 40°C		
	R-22	R-407C
ER	147,6 kJ/kg	141,8 kJ/kg
C	53,5 kJ/kg	59,1 kJ/kg
Qr	201,1 kJ/kg	200,9 kJ/kg
COP	2,76	2,40

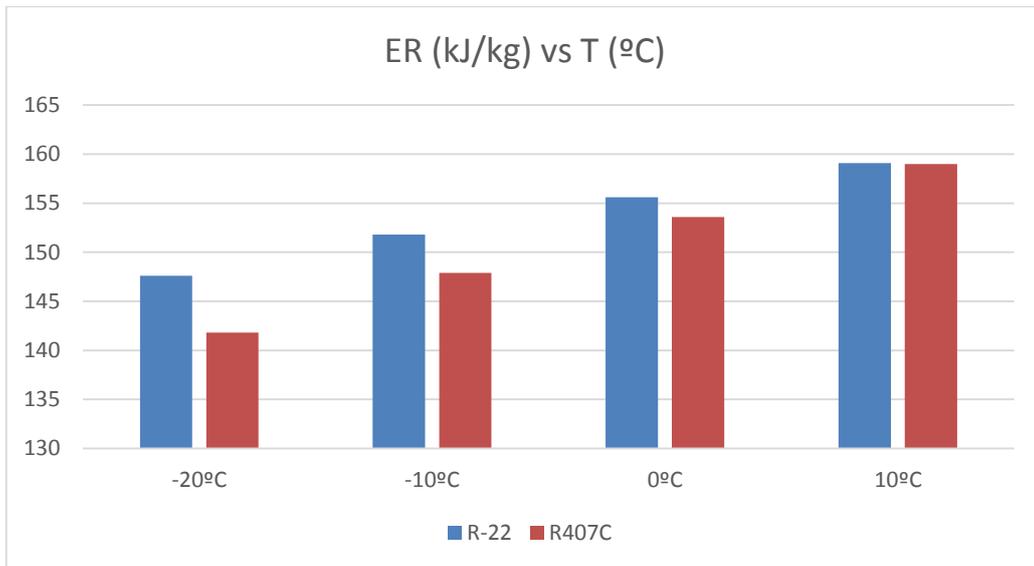
Tabla Comparativa del caso 2		
Tevap = -10°C y Tcond= 40°C		
	R-22	R-407C
ER	151,8 kJ/kg	147,9 kJ/kg
Wc	46,3 kJ/kg	52,0 kJ/kg
Qr	198,1 kJ/kg	199,9 kJ/kg
COP	3,28	2,84

Tabla Comparativa del caso 3		
T.evap = 0°C y T.cond= 40°C		
	R-22	R-407C
ER	155,6 kJ/kg	153,6 kJ/kg
Wc	38,5 kJ/kg	44,0 kJ/kg
Qr	194,1 kJ/kg	197,6 kJ/kg
COP	4,04	3,49

Tabla Comparativa del caso 4		
Tevap = 10°C y Tcond= 40°C		
	R-22	R-407C
ER	159, kJ/kg	159,0 kJ/kg
Wc	30,1 kJ/kg	35,1 kJ/kg
Qr	189,2 kJ/kg	194,1 kJ/kg
COP	5,29	4,53

Tabla Comparativa R-22 y R-407C		
Efecto Refrigeración (ER)		
	R-22	R407C
-20°C	147,6 kJ/kg	141,8 kJ/kg
-10°C	151,8 kJ/kg	147,9 kJ/kg
0°C	155,6 kJ/kg	153,6 kJ/kg
10°C	159,1 kJ/kg	159,0 kJ/kg

Grafica 1



Grafica 2

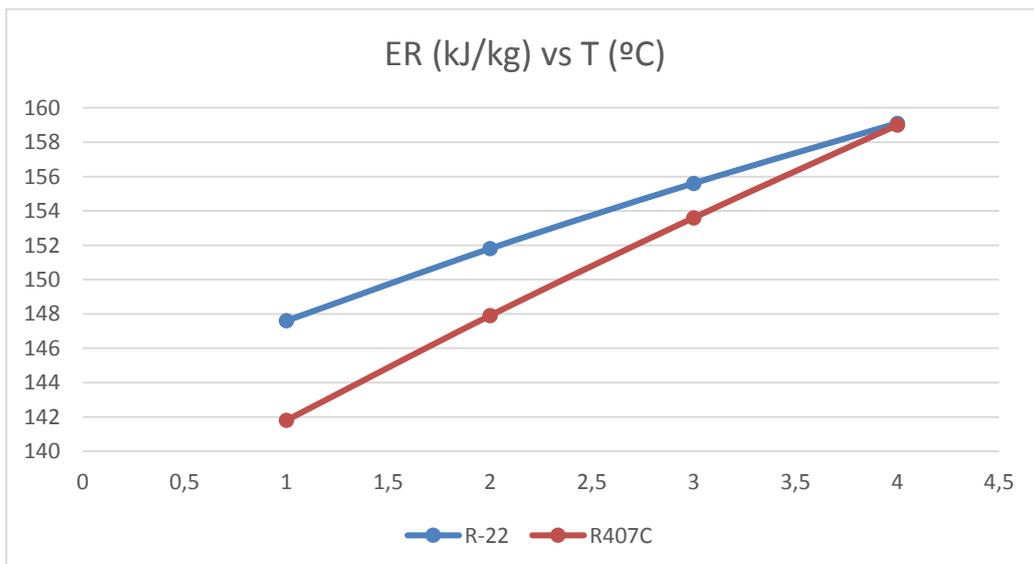
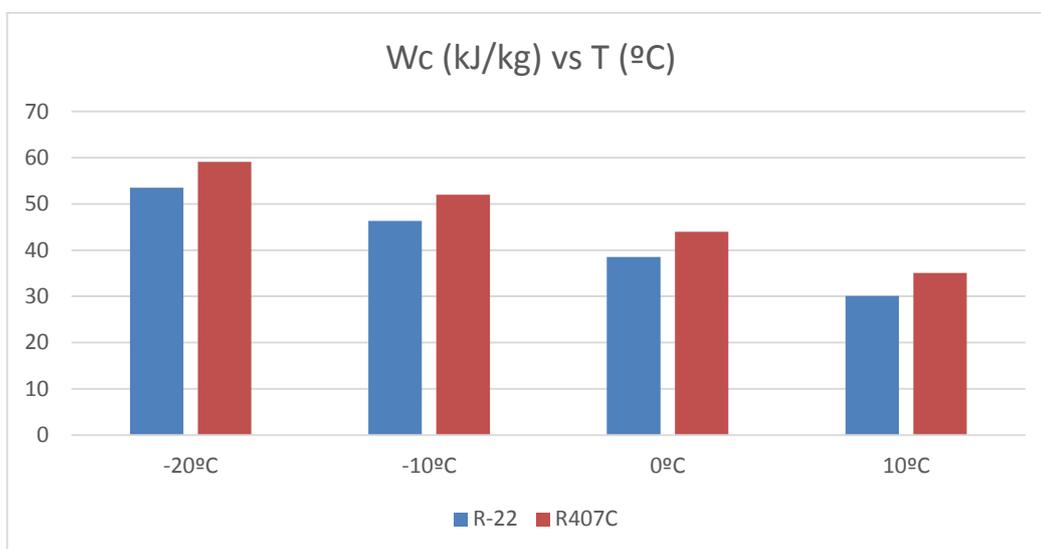


Tabla Comparativa R-22 y R-407C		
	Trabajo del Compresor (Wc)	
	R-22	R407C
-20°C	53,5 kJ/kg	59,1 kJ/kg
-10°C	46,3 kJ/kg	52,0 kJ/kg
0°C	38,5 kJ/kg	44,0 kJ/kg
10°C	30,1 kJ/kg	35,1 kJ/kg

Grafica 3



Gráfica 4

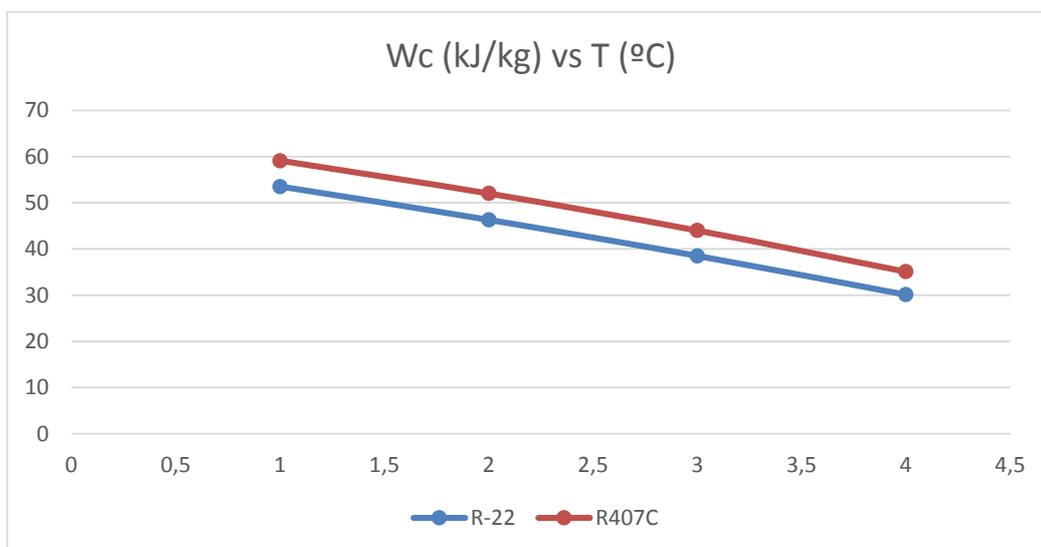
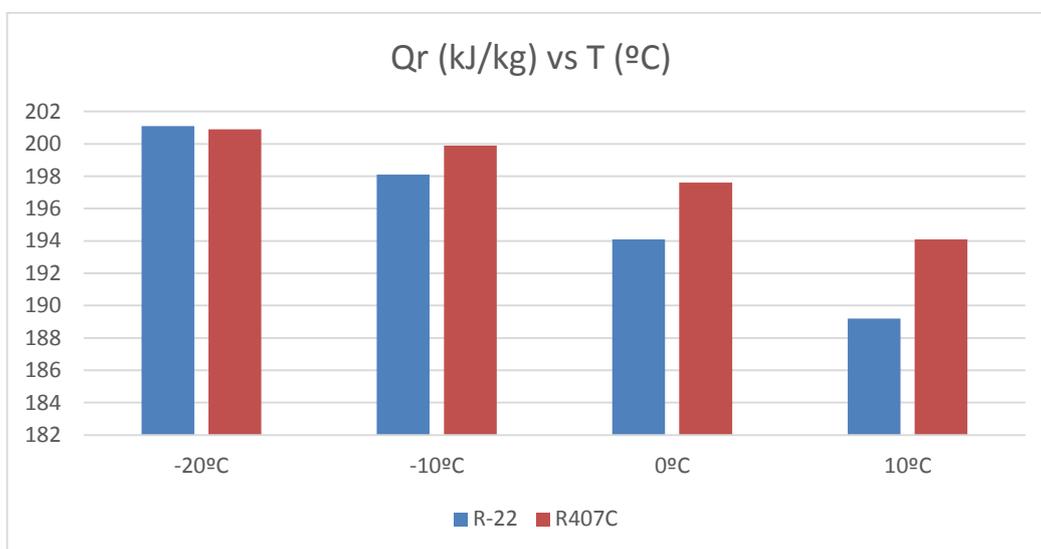


Tabla Comparativa R-22 y R-407C		
	Calor de Condensación (Qr) en kJ/kg	
	R-22	R407C
-20°C	201,1	200,9
-10°C	198,1	199,9
0°C	194,1	197,6
10°C	189,2	194,1

Gráfica 5



Gráfica 6

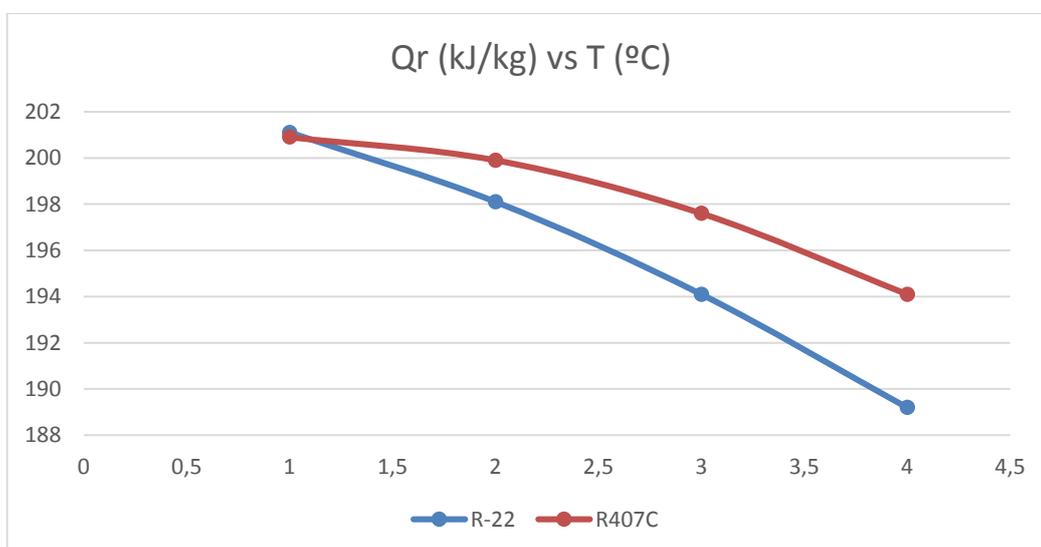
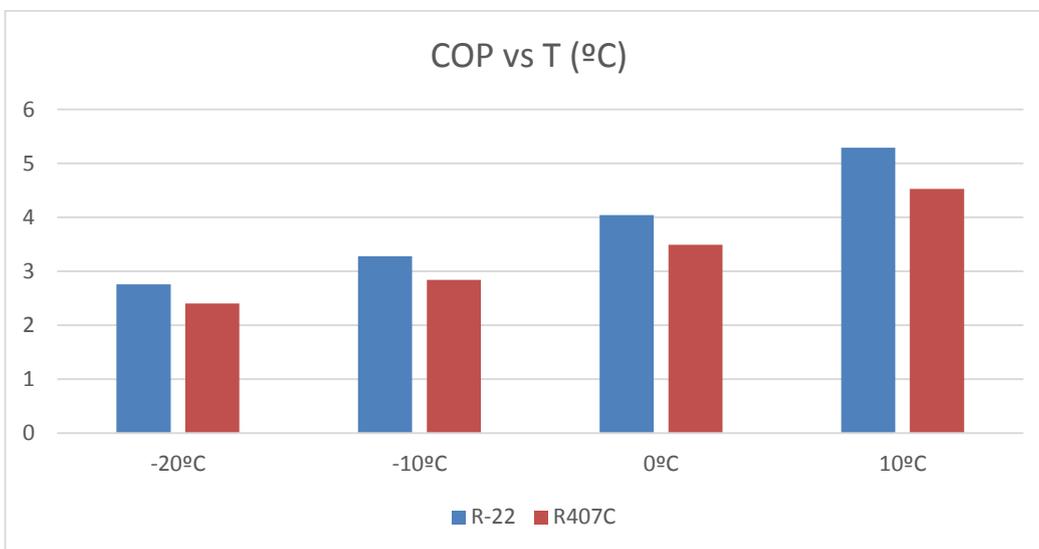


Tabla Comparativa R-22 y R407C		
	Coeficiente de Performance (COP)	
	R-22	R407C
-20°C	2,76	2,40
-10°C	3,28	2,84
0°C	4,04	3,49
10°C	5,29	4,53

Gráfica 7



Gráfica 8

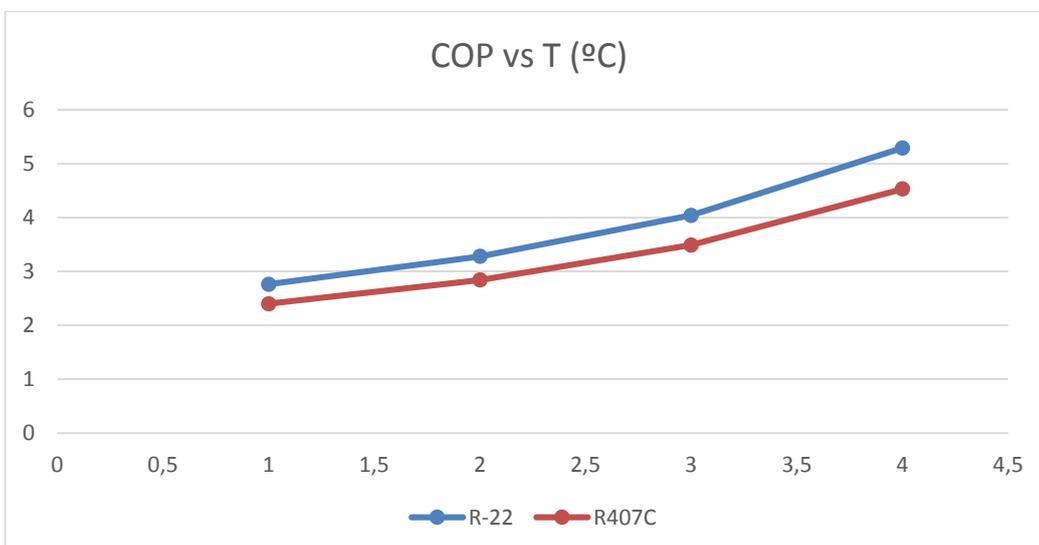
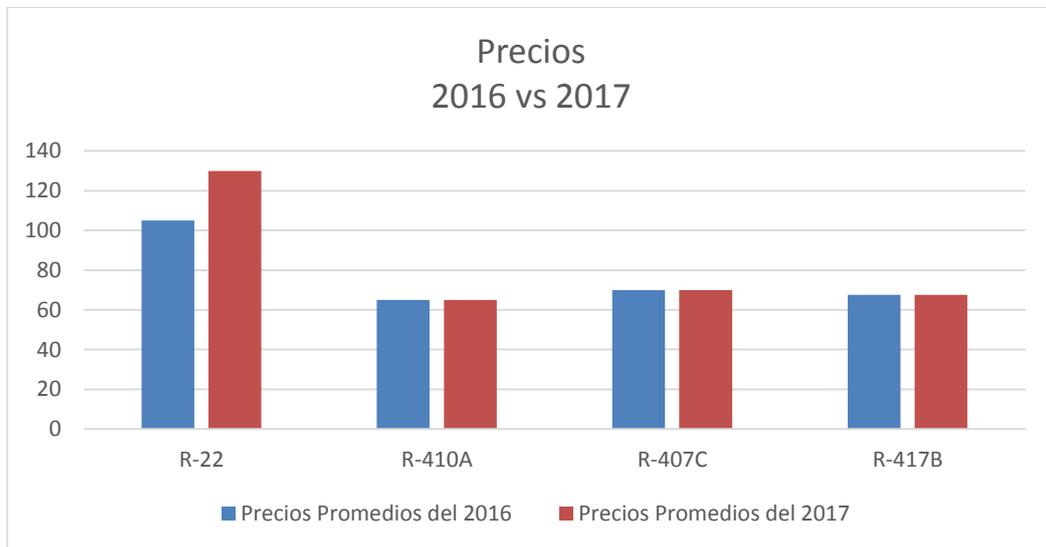


Tabla de costos de Refrigerante R-22 y Refrigerante alternativo por balón de 13.5 Kg

	Precios 2016	Precios 2017
R-22	\$ 90-120	\$ 100-160
R-410A	\$ 60-70	\$ 60-70
R-407C	\$ 65-75	\$ 65-75
R-417B	\$ 60-75	\$ 60-75

Gráfica 9



Cuadro de Costos por cambio de refrigerante del sistema a la empresa

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/.)
1	Mano de obra	4 técnico x 6 días laborados	60.00	1440.00
2	Refrigerante R407C de 11.5 kg	8 Balones	250.00	2000.00
3	Aceite mineral 3.8 L	5 Galones	50.00	250.00
4	Filtro secador 3/8 y 2 tuercas	30	28.00	840.00
5	Balón de nitrógeno de 5 m3	2 Balones	300.00	600.00
6	Balón contenedor de R-22	30	40.00	1200.00
7	Transporte del R-22 al Ministerio del ambiente	1 día	50.00	50.00
	Subtotal		958.00	6380.00
	IGV (18%)			1148.40
	Total (S/.)			7528.40

Cotización por cambio de refrigerante del sistema al cliente

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/.)
1	Por servicio de vacío total del sistema de R-22 (recuperación y transporte), limpieza del sistema con nitrógeno, reparación de sistema, cambio de filtro secador, tuerca de cobre y aceite mineral.	30	600.00	18000.00
2	Por servicio de Recarga de gas R407C	30	50.00	1500.00
3	Por servicio de mantenimiento de equipos de Aire acondicionado de diferentes capacidades	30	200.00	6000.00
	Sub Precio		850.00	25500.00
	IGV (18%)			4590.00
	Precio Total			30090.00

Programa de Mantenimiento Mensual, adicionando el servicio del cambio del refrigerante R407C

Actividades De Aire acondicionado	Inicio de Trabajo	Fin de trabajo	Duracion de trabajos (Correspondiente a la quincena de cada Mes)						
			DIAS						
			Dia 15 (Lunes)	Dia 16 (Martes)	Dia 17 (Miercoles)	Dia 18 (Jueves)	Dia 19 (Viernes)	Dia 20 (Sabado)	Dia 22 (Lunes)
Mantenimiento del Area Arenales	15	17							
Mantenimiento del Area Arequipa	17	18							
Mantenimiento de Oficinas	19	20							
Vacio del Sistema, Limpieza del sistema y cambio de accesorios	16	20							
Recarga R407C	16	20							
Transporte de los R-22 Reciclados	22	22							

CONCLUSIONES

- Los resultados de análisis comprueban que el R407C es un refrigerante alternativo del R-22 que posee propiedades físicas similares, por ende es propicio para la sustitución y cumpliendo la protección del medio ambiente.
- El R-407C presenta ser una buena elección frente al R-22, referido a los costos, es muy accesible para el consumidor y asimismo está entrando progresivamente al mercado peruano.

RECOMENDACIONES

- a. Se recomienda para las nuevas instalaciones de equipos de aire acondicionado del casino, los refrigerantes ecológicos R-410A.
- b. Se recomienda cambiar progresivamente otros accesorios del sistema para mejorar el tiempo de climatización y el tiempo de vida de los equipos.
- c. Se recomienda evaluar a futuro, empresas que se dediquen a la destrucción del refrigerante dentro de nuestro País, debido a la normativa peruana aun no obliga la destrucción del R-22.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Mogollón Vilca, Pedro Pablo (2016), Título: “Modelación y Control avanzado de un Sistema de aire acondicionado para ahorro de Consumo Energético”.

[2] Bermeo Rodríguez, Hugo Enrique. (2009), “Factibilidad para sustitución de sistemas que funcionan con NH₃ en el Área de fabricación de galletas con crema. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil-Ecuador.

[3] Calderón Hernández, Marco Antonio (2016), " Manual de Buenas Prácticas en Refrigeración." [En línea], Disponible en <http://www.seam.gov.py/sites/default/files/users/comunicacion/Manual%20Buenas%20Practicas.pdf> (01/03/2017)

[4] http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700502/moodle/file.php/77/2_Curso/0040._Montaje_y_mantenimiento_de_equipos_de_refrigeracion_comercial/Capitulo_I/Practica_basica_No_8/Reconversion_de_refrigerantes_y_aceites.pdf (01/03/2017)

[5] Laya Picado, Diego Manuel (1999) " Alternativas para la sustitución del R22." [En línea], Disponible en <http://www.idpi.es/sustitucion-r22.html>. (01/03/2017)

[6] Revista Mundo HVACR (2007), "El Compresor: Parte fundamental en los Sistemas de Refrigeración" [En línea], Disponible en <https://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2007/11/el-compresor-parte-fundamental-en-los-sistemas-de-refrigeracion/> (05/03/2017)

[7] "Guía de Reconversión para el refrigerante Du- pont ISEON M029"
https://www.chemours.com/Refrigerants/es_ES/assets/downloads/k10942_sp.pdf
(04/03/2017)

[8] Casimiro Catalá Gregori (2008) "Guía Básica del Frigorista" CATAINFRI S.L., Madrid

[9] www.idpi.essustitucion-r22.html [En línea], (05/03/2017)

[10] <http://www.produce.gob.pe/index.php/dgaami/proyectos-de-cooperacion/protocolo-de-montreal-produce-punto-focal-nacional> [En línea], (05/08/2017)

[11] <https://es.slideshare.net/navothperezmontre/tablas-termo-42778257> [En línea], (05/08/2017)

ANEXOS

1. Clasificación General de Sistemas de Aire Acondicionado

Tipo de equipamiento	Equipos	Características	Sistemas
Expansión directa	Auto contenidos exteriores enfriados por el aire.	Individual de Ventana o Muro.	Unitarios
	Autocontenidos Interiores.	Wall – Mountend Enfriado por aire	Unitarios o todo aire
		Compacto central con condensación exterior separada por aire o por agua.	Unitarios o todo aire
		Compacto individual con condensación exterior separada por agua - WHLP.	Unitarios
		Split – systems.	Todo refrigerante
		Multi - Split	Todo refrigerante
		VRV – volumen de refrigerante variable	Todo refrigerante
Expansión indirecta	Unidades enfriadoras de agua , enfriados por agua	Unidad de tratamiento o manejadora de aire – Air Handlers o Fan coil central. Distribución a volumen Constante o volumen variable.	Todo aire
		Fan-coil individual	Todo agua
		Fan coil individua con Unidades de tratamiento de aire – Air Handlers o Fan coil central para tratamiento primario	
		Inducción	Agua -aire
		Techo frio	Agua -aire

2. TABLA DE SATURACIÓN DEL R-407C

NOTA: presiones Absolutas, para comparar las presiones medidas en un manómetro (presiones Relativas), incrementar a las presiones del manómetro 1 bar (0,98692 atm).

T	LIQUIDO SATURADO				VAPOR SATURADO				Calor de vaporizac kJ/kg
	P.burbuja	Densidad	Entalpia	Entropia	P.rocio	Densidad	Entalpia	Entropia	
° C	bar	kg/m ³	kJ/kg	kJ/kg.K	bar	kg/m ³	kJ/kg	kJ/kg.K	
-70	0,237	1455,813	112,7	0,635	0,143	0,734	371,9	1,935	259,2
-65	0,322	1442,023	118,5	0,662	0,199	1,000	375,2	1,919	256,7
-60	0,431	1428,022	124,2	0,690	0,273	1,342	378,4	1,904	254,2
-55	0,567	1413,796	130,1	0,717	0,369	1,777	381,6	1,890	251,6
-50	0,735	1399,335	136,0	0,743	0,492	2,322	384,9	1,878	248,9
-45	0,939	1384,623	141,9	0,770	0,646	2,997	388,1	1,866	246,2
-40	1,187	1369,646	148,0	0,796	0,838	3,822	391,3	1,856	243,3
-35	1,483	1354,386	154,1	0,822	1,074	4,821	394,5	1,846	240,4
-30	1,833	1338,825	160,4	0,848	1,361	6,017	397,7	1,837	237,3
-25	2,246	1322,942	166,7	0,873	1,704	7,437	400,8	1,829	234,2
-20	2,728	1306,713	173,1	0,899	2,112	9,108	403,9	1,822	230,8
-15	3,288	1290,112	179,6	0,924	2,593	11,061	407,0	1,815	227,3
-10	3,933	1273,110	186,3	0,949	3,153	13,328	410,0	1,809	223,7
-5	4,673	1255,673	193,1	0,975	3,801	15,944	412,9	1,803	219,8
0	5,518	1237,761	200,0	1,000	4,545	18,947	415,7	1,797	215,7
5	6,475	1219,330	207,1	1,025	5,394	22,383	418,4	1,792	211,4
10	7,557	1200,329	214,32	1,051	6,357	26,299	421,1	1,788	206,8
15	8,772	1180,695	221,7	1,076	7,444	30,755	423,6	1,783	201,9
20	10,132	1160,357	229,3	1,102	8,663	35,817	426,0	1,779	196,7
25	11,647	1139,227	237,1	1,128	10,028	41,568	428,2	1,774	191,1
30	13,327	1117,197	245,2	1,154	11,549	48,108	430,3	1,770	185,1
35	15,182	1094,138	253,5	1,180	13,241	55,561	432,1	1,765	178,7
40	17,222	1069,880	262,1	1,207	15,119	64,088	433,8	1,760	171,7
45	19,455	1044,209	271,0	1,235	17,200	73,896	435,1	1,755	164,1
50	21,891	1016,836	280,3	1,263	19,504	85,269	436,0	1,749	155,7
55	24,535	987,363	290,1	1,292	22,055	98,596	436,5	1,742	146,5
60	27,394	955,216	300,4	1,322	24,880	114,451	436,5	1,734	136,1
65	30,471	919,510	311,4	1,354	28,010	133,723	435,6	1,724	124,2
70	33,767	878,753	323,3	1,387	31,483	157,934	433,6	1,711	110,3

Fuente: guía básica del frigorista / catain.es

3. TABLA DE SATURACIÓN DEL R-22

NOTA: presiones Absolutas, para comparar las presiones medidas en un manómetro (presiones Relativas), incrementar a las presiones del manómetro 1 bar (0,98692 atm).

TABLA DE SATURACION R-22

T ° C	Presión absoluta bar	Densidad liquido dm ³ /kg	Densid. vapor dm ³ /kg	Densidad liquido kg/m ³	Densid. vapor kg/m ³	Entalpia liquido kJ/kg	Entalpia vapor kJ/kg	Calor lat. Vaporiz. kJ/kg	Entropia liquido kJ/kg.K	Entropia vapor kJ/kg.K
-70	0,205	0,670	941,552	1493,192	1,062	124,7	374,1	249,4	0,684	1,912
-65	0,280	0,676	705,906	1479,741	1,417	129,6	376,6	246,9	0,708	1,895
-60	0,375	0,682	537,464	1466,121	1,861	134,6	379,0	244,4	0,732	1,878
-55	0,495	0,689	415,055	1452,324	2,409	139,7	381,4	241,7	0,755	1,864
-50	0,644	0,695	324,726	1438,337	3,080	144,8	383,8	239,0	0,779	1,850
-45	0,827	0,702	257,117	1424,150	3,889	150,1	386,2	236,2	0,802	1,837
-40	1,049	0,709	205,842	1409,749	4,858	155,3	388,5	233,2	0,825	1,825
-35	1,316	0,717	166,474	1395,122	6,007	160,7	390,8	230,2	0,847	1,814
-30	1,634	0,725	135,901	1380,251	7,358	166,1	393,1	227,0	0,869	1,803
-25	2,009	0,733	111,904	1365,120	8,936	171,5	395,3	223,7	0,892	1,793
-20	2,447	0,741	92,879	1349,710	10,767	177,1	397,4	220,4	0,914	1,784
-15	2,956	0,750	77,654	1334,000	12,878	182,7	399,5	216,8	0,935	1,775
-10	3,542	0,759	65,363	1317,966	15,299	188,4	401,6	213,2	0,957	1,767
-5	4,212	0,768	55,358	1301,581	18,064	194,2	403,5	203,3	0,979	1,759
0	4,975	0,778	47,150	1284,815	21,209	200,0	405,4	205,4	1,000	1,752
5	5,836	0,789	40,368	1267,632	24,772	205,9	407,2	201,3	1,021	1,745
10	6,805	0,800	34,724	1249,994	28,799	211,9	408,9	197,0	1,042	1,738
15	7,890	0,812	29,996	1231,854	33,338	218,0	410,5	192,5	1,063	1,731
20	9,097	0,824	26,010	1213,158	38,446	224,1	412,0	187,9	1,084	1,725
25	10,347	0,838	22,630	1193,844	44,189	230,4	413,4	183,0	1,105	1,719
30	11,917	0,852	19,747	1173,836	50,642	236,8	414,6	177,9	1,126	1,712
35	13,546	0,867	17,273	1153,044	57,895	243,2	415,8	172,5	1,146	1,706
40	15,333	0,884	15,139	1131,356	66,056	249,8	416,7	166,9	1,167	1,700
45	17,288	0,902	13,287	1108,637	75,261	256,5	417,5	160,9	1,188	1,694
50	19,420	0,922	11,672	1084,712	85,677	263,4	418,0	154,6	1,209	1,687
55	21,742	0,944	10,254	1059,355	97,521	270,5	418,3	147,8	1,230	1,680
60	24,263	0,969	9,002	1032,265	111,08	277,8	418,3	140,5	1,251	1,673
65	26,996	0,997	7,889	1003,027	126,76	285,4	418,0	132,6	1,273	1,665
70	29,956	1,030	6,890	971,035	145,13	293,3	417,1	123,8	1,295	1,656

Fuente: guía básica del frigorista / catain.es

4. Tabla – Código de colores para los contenedores de algunos refrigerantes comunes.

REFRIG. Nº	COLOR	PMS *
R-11	NARANJA	021
R-12	BLANCO	---
R-13	AZUL CLARO / BANDA AZUL OSCURO	2975
R-22	VERDE	352
R-123	GRIS CLARO (PLATA)	428
R-134a	AZUL CLARO (CELESTE)	2975
R-401A (MP-39)	ROJO-ROSADO (CORAL)	177
R-401B (MP-66)	AMARILLO-CAFE (MOSTAZA)	124
R-402A (HP-80)	CAFE CLARO (ARENA)	461
R-402B (HP-81)	VERDE ACEITUNA	385
R-404A (HP-62)	NARANJA	021
R-407C (AC-9000)	GRIS	---
R-500	AMARILLO	109
R-502	MORADO CLARO (ORQUIDEA)	251
R-503	AZUL-VERDE (ACQUA)	3268
R-507 (AZ-50)	MARRON	167
R-717	PLATA	877

* Sistema comparativo PANTONE.

5. Protocolo de Montreal - PRODUCE: Punto Focal Nacional

“El Protocolo de Montreal (firmado en 1987) es un acuerdo internacional ambiental, que establece obligaciones a los países firmantes para tomar medidas con miras a la protección de la Capa de Ozono de las sustancias químicas que la destruyen. El Ministerio de la Producción a través de la Dirección General de Asuntos Ambientales de Industria (DGAAMI) actúa como punto Focal del Protocolo y es responsable del cumplimiento de los compromisos asumidos por el Perú, país que viene efectuando positivamente la eliminación de éstas sustancias.

La Capa de Ozono se expande alrededor del globo terrestre y actúa como filtro de la radiación ultravioleta dañina, protegiendo la tierra y la vida en ella. Las Sustancias químicas

Agotadoras de la Capa de Ozono (SAO) destruyen el ozono de la atmósfera y dejan pasar los rayos ultravioletas que afectan la vida y el medio ambiente. Los efectos más graves están relacionados con: enfermedades como cáncer de piel y problemas oculares, la afección a la agricultura y deterioro de los bosques, la disminución de especies marinas e industria pesquera, entre otros. Éstas sustancias (SAO) se encuentran en productos como: refrigerantes, espumantes, solventes de limpieza, extintores de incendio, fumigantes, etc.



Fig.27 –Ubicación del SAO en la Troposfera

Para fortalecer los objetivos del Protocolo de Montreal, se creó un Fondo Multilateral encargado de brindar los recursos económicos para asistir a los países en vías de desarrollo a eliminar las SAO. Gracias a éste esfuerzo, la aplicación del Protocolo de Montreal ha progresado bien, ya que todos los calendarios de eliminación de las SAO se han respetado en la mayoría de los casos, algunos incluso antes de lo previsto. Es por ello que la Capa de Ozono se viene recuperando, siendo éste tratado climático el más exitoso actualmente.

Para el cumplimiento de las obligaciones establecidas en el marco de los acuerdos del Protocolo de Montreal, el Perú viene ejecutando, entre otras actividades, dos proyectos con miras a cumplir la eliminación de las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono (SAO). Ambos proyectos son financiados por el Fondo Multilateral para la implementación del Protocolo de Montreal.

Plan Nacional de Eliminación de los Hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) en Perú

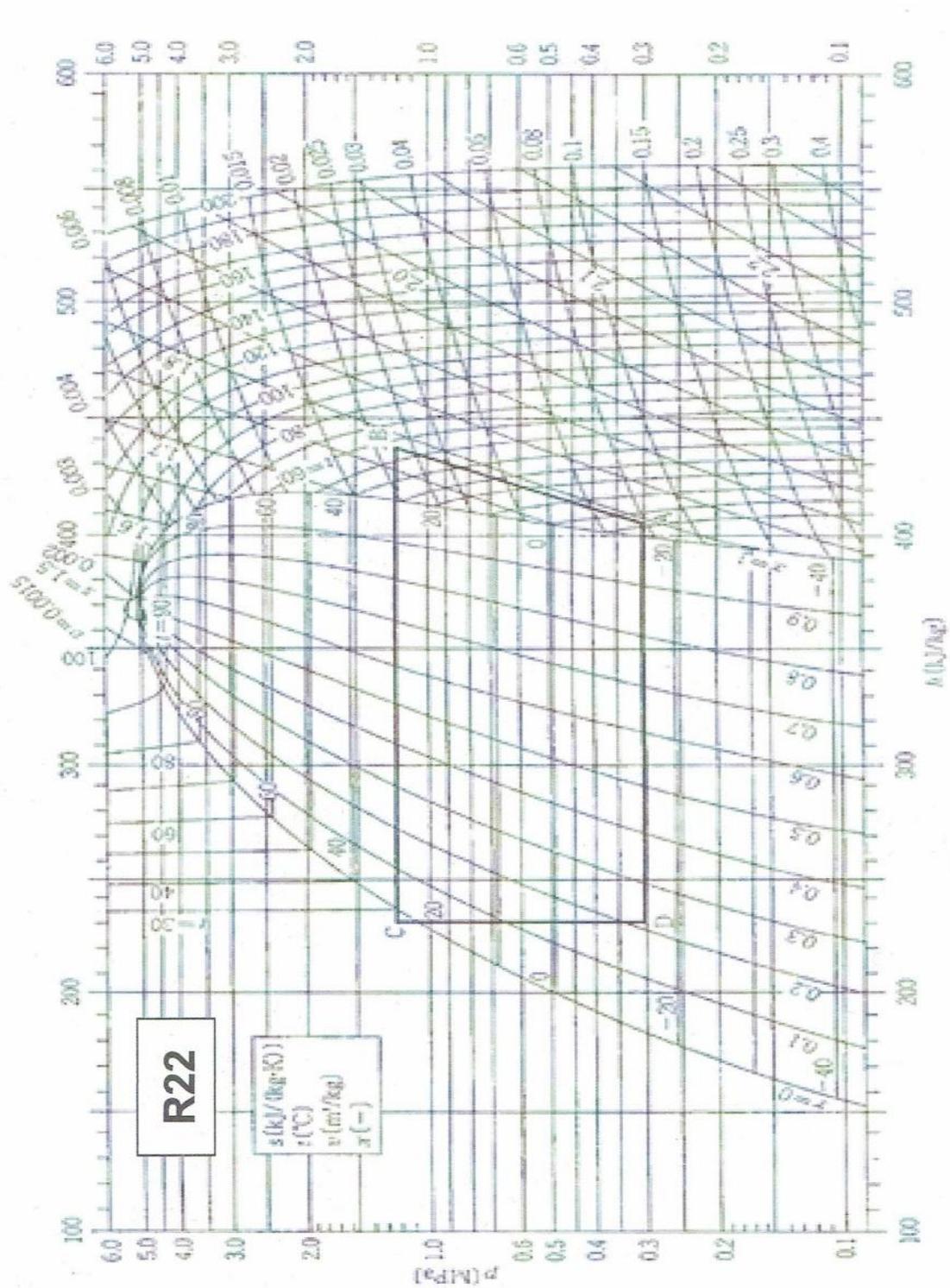
El “Plan Nacional de Eliminación de los Hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) en Perú - PNH”, ejecutado por el Ministerio de la Producción a través de la Dirección General de Asuntos Ambientales de Industria (DGAAMI), tiene al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) como Agencia Implementadora Cooperante, y al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) como Agencia Implementadora Líder en su ejecución. Éste proyecto incluye actividades de asistencia técnica para el control del ingreso de HCFCs y equipos que lo contengan, la cuales son ejecutadas con la cooperación de PNUMA; en el desarrollo de dichas actividades se ha incluido la difusión de información sobre nuevas tecnologías y sustitutos de las SAO.

Proyecto de Fortalecimiento Institucional para el Perú

Por medio del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), se aprobó el “Proyecto de Fortalecimiento Institucional para el Perú” cuyo objetivo es fortalecer la capacidad de la Dirección General de Asuntos Ambientales de Industria (DGAAMI) y la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria para implementar los compromisos del Protocolo de Montreal adquiridos por el Perú como parte del presente acuerdo y sus respectivas enmiendas.” [10]

Diagrama de Mollier del R-22

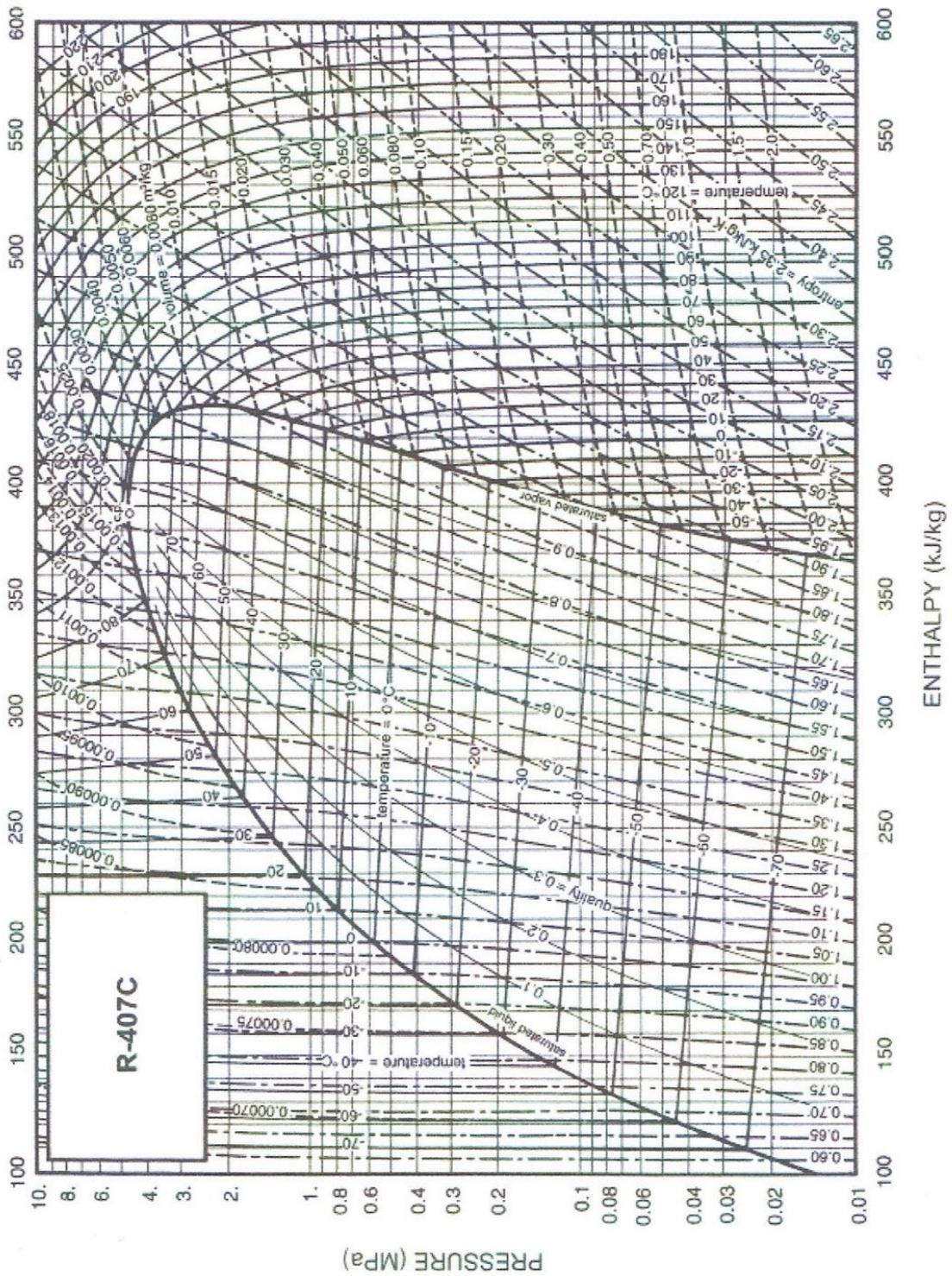
Presión vs Entalpía (P-h)



Fuente: Tablas – Carlos J. Renedo.

Diagrama de Mollier del R-407C

Presión vs Entalpia (P-h)



Fuente: Tablas – Carlos J. Renedo