

Universidad de Matanzas sede "Camilo Cienfuegos"
Facultad de Ciencias Técnicas



**Propuesta de cambio del sistema de climatización de las
habitaciones del Hotel Meliá Península para el ahorro de
energía eléctrica.**

Trabajo de Diploma en Ingeniería Mecánica

Fernando Amador Cadenas

Matanzas, 2020

*Universidad de Matanzas sede “Camilo Cienfuegos”
Facultad de Ciencias Técnicas*



**Propuesta de cambio del sistema de climatización de las
habitaciones del Hotel Meliá Península para el ahorro de
energía eléctrica.**

Trabajo de Diploma en Ingeniería Mecánica

Autor: Fernando Amador Cadenas

Tutor: Marlene Oramas Ortega

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas «Camilo Cienfuegos» a darle el uso que estime más conveniente.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

RESUMEN

El hotel Meliá Península posee un total de 596 habitaciones climatizadas con aires acondicionado tipo split. Estos aires acondicionados se encuentran ubicados en los áticos de los edificios, en los cuales existe poca ventilación debido fundamentalmente a un deficiente diseño arquitectónico, las temperaturas del aire circundante a las unidades condensadoras rebasa los 60 °C; cuando debieran trabajar por diseño con una temperatura de 32 °C. Esta situación eleva la presión de descarga del compresor y aumenta la potencia necesaria a entregar por este, incrementa el consumo de energía eléctrica y acelera el deterioro del compresor por las altas temperaturas de trabajo. Se proponen dos soluciones, sustituir el sistema actual por un sistema multi-split, y cambiar el refrigerante R-22 por el R-410 A para dar cumplimiento a las normativas internacionales. Las soluciones propuestas conllevan a una disminución del gasto eléctrico del hotel, que a su vez disminuye el consumo de combustibles fósiles en el país. Se plantea la metodología para determinar el tiempo de recuperación de la inversión.

Palabras claves: aires acondicionados, sistema multi-split, refrigerantes.

ABSTRACT

Melia Peninsula hotel has 596 rooms with air conditioning split. They are placed in the building's attics. In these attics there is not enough ventilation due to the structure in the architecture of the building. Temperatures can exceed 60 °C in this place; however these equipments should work in places under 32 °C. This situation causes a rise in the discharge pressure of the compressor, its power and also accelerates the damage of the compressor . Two solutions are proposed: to replace the current system, to replace the coolant R-22 for R-410 A, to comply with international standards. These solutions lead to a lower consumption of electricity and the consumption of fossil fuel in the country. The methodology to determine the recovery time of the investment is proposed.

Key words: conditioned airs, system multi-split-up, coolant.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1:.....	3
1.1 Breve reseña histórica del acondicionamiento del aire.....	3
1.2 Confort Térmico.....	4
1.2.1 Metabolismo.....	4
1.2.2 Regulación del calor del cuerpo humano.	5
1.2.3 Vestimenta.	6
1.2.4 Condiciones del local.....	6
1.3 Gases refrigerantes. Principales características	7
1.3.1 Clasificación de los refrigerantes:	8
1.4 Propiedades físicas y químicas de los refrigerantes y de seguridad.	10
1.4.1 Propiedades Físicas:.....	10
1.4.2 Propiedades Químicas:.....	10
1.4.3 Propiedades de Seguridad	10
1.5 Pasos fundamentales en el ciclo de refrigeración simple y órganos principales. ...	11
1.5.1 Expansión:	11
1.5.2 Evaporación:	11
1.5.3 Compresión:	11
1.5.4 Condensación:	11
1.5.5 Órganos principales.....	12
1.6 Ciclo estándar de compresión de vapor.	12
1.6.1 Subenfriamiento del líquido y recalentamiento del vapor.	15
1.7 Climatización y sus aplicaciones	16
1.7.1 Climatización ordinaria, de interiores o de confort:	16
1.7.2 Aire Acondicionado de Vehículos:	16
1.7.3 Aire acondicionado industrial:	16
1.8. Clasificación de los Sistemas Todo Refrigerante.	16
1.9 Refrigeración y Medio Ambiente:	17
1.9.1 Medio ambiente:	18

1.9.2 Calentamiento global:	18
1.9.3 Efecto invernadero:	18
1.9.4 Cambio climático:	19
1.9.5 Impacto de los refrigerantes clorofluorocarbonados:.....	19
1.9.6 Sustancias agotadoras de la capa de ozono y sus sustitutos:.....	20
CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS.	22
2.1 Metodología para la evaluación energética del ciclo de refrigeración.....	22
Cálculo del flujo másico de refrigerante.	23
Cálculo del volumen real del compresor.....	23
Balance energético del compresor.	23
Cálculo de la potencia real.....	25
Cálculo de la potencia eléctrica consumida por el compresor.	26
Cálculo del coeficiente de efecto frigorífico.....	26
Cálculo del coeficiente de efecto frigorífico eléctrico.....	27
2.2 Determinación de los sobre consumos de energía eléctrica.....	27
Cálculo del sobreconsumo de electricidad.....	27
2.3 Propuesta de cambio de split por multisplit y de cambio de refrigerante.	28
2.4 Cálculo económico.....	30
2.5 Impacto ambiental debido al sobreconsumo de energía eléctrica.....	30
Emisión de CO ₂	30
Capítulo 3 Análisis de los Resultados.....	31
3.1 Resultados de la evaluación energética del ciclo de refrigeración.....	31
3.2 Comparación de los resultados del cálculo para las condiciones de trabajo indicadas por el fabricante y las condiciones de trabajo actuales.	31
3.3 Análisis del sobreconsumo de un aire acondicionado tipo Split.	33
3.4 Resultados de los ahorros alcanzados debido a las propuestas estudiadas.	33
3.5 Tiempo de recuperación de la inversión hecha por el hotel.....	33
Conclusiones	34
Recomendaciones.....	35
Referencias Bibliográficas	36
Anexos	38

INTRODUCCIÓN

Los clientes de los hoteles cinco estrellas acuden a los mismos con elevadas expectativas y requerimientos. En aras de satisfacer esas necesidades cada hotel dispone de variedad de salas y áreas tomando como ejemplo las piscinas con aguas transparentes, restaurantes con deliciosa comida, acompañada de refrescantes bebidas, centros para actividades náuticas, bares y áreas verdes donde los clientes intercambian con la belleza natural del entorno, entre otros sitios a su disposición. Pero al concluir el día, requieren de un tranquilo descanso en el confort de sus habitaciones, donde estas tengan el clima indicado por cada usuario y la menor presencia posible de ruido.

Dentro de todos estos hoteles se encuentra el hotel Meliá Península con una moderna y romántica construcción de estilo colonial. Su espacio, confort y el servicio esmerado de su personal hacen de él un sitio para pasarla sin preocupaciones y con la sensación de estar apartado del resto del mundo. Se localiza en primera línea de playa, a 2 km de la Marina Gaviota.

El Meliá Península dispone de 591 habitaciones: 5 suites y 586 dobles estándar -5 de ellas para minusválidos. Por lo que posee 596 aires acondicionados del tipo split, con una capacidad de una tonelada de refrigeración (Tnr) cada uno. El hotel está compuesto por 20 bungalow, 2 bungalow de 24 habitaciones, 13 bungalow de 36 habitaciones y 5 bungalow de 16 habitaciones, que hacen el total de 596 habitaciones climatizadas

Problema científico:

Debido fundamentalmente a un deficiente diseño arquitectónico, las temperaturas del aire circundante a estos split rebasa normalmente los 60 °C, cuando debieran trabajar por diseño con una temperatura de 32 °C, esta situación eleva la presión de descarga del compresor, aumentando la potencia necesaria a entregar por este, por lo que también se incrementa el consumo de energía eléctrica y el deterioro del compresor, conllevando gastos excesivos e innecesarios de mantenimiento y reparación, por roturas continuas de estos equipos, todo lo cual reduce drásticamente su vida útil e incrementa el gasto por facturación del Hotel por el incremento del consumo de energía eléctrica.

Hipótesis:

Se podrá hacer un cambio en el sistema de climatización que le permita al hotel conservar el confort del clima y le proporcione un ahorro tanto de energía como en mantenimiento, contribuyendo en si a disminuir el consumo de combustibles fósiles y el aumento de la contaminación de la atmosfera producto de los gases de la combustión.

Objetivo General:

Proponer soluciones que garanticen las condiciones de confort en las habitaciones que tengan en cuenta el menor consumo de energía posible para la preservación del medio ambiente.

Objetivos Específicos:

- Realizar el estudio del arte en la temática.
- Verificar la correcta selección del equipo instalado.
- Realizar el cálculo económico.
- Análisis medio ambiental de los resultados.

CAPÍTULO 1:

1.1 Breve reseña histórica del acondicionamiento del aire.

La refrigeración tiene su origen histórico desde el siglo XII, los chinos utilizaban mezclas de salitre con el fin de enfriar agua; los árabes en el siglo XIII utilizaban métodos químicos de producción de frío mediante mezclas; en los siglos XVI y XVII, investigadores y autores como Boyle, Faraday (con sus experimentos sobre la vaporización del amoníaco), hacen los primeros intentos prácticos de producción de frío. La primera máquina de refrigeración se patentó en 1834 por Jacob Perkins. Se trata de una máquina de absorción que utilizaba éter. Así pues esta sustancia tendría el privilegio de ser el primer refrigerante industrial. En 1850 Edmond Carré patentó la primera máquina de absorción que funcionaba con agua como refrigerante y ácido sulfúrico como absorbente. Su hermano, Ferdinand, comercializó en 1859 una máquina de absorción con amoníaco como refrigerante y agua como absorbente. En 1867 se utiliza el CO_2 como refrigerante en la compresión de vapor, el NH_3 en 1873, el SO_2 y el CH_3OCH_3 en 1875 y el ClCH_3 en 1878. En 1928 Carrier utiliza el $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$ en las máquinas de compresión de vapor con compresores centrífugos. Todos estos refrigerantes eran inflamables y tóxicos, excepto el CO_2 . Desde el punto de vista de la seguridad, el CO_2 es excelente pero sus propiedades termodinámicas un desastre.

Antes de 1928 se utilizaba en las máquinas de compresión de vapor el NH_3 y algún otro como el CO_2 , el SO_2 y el ClCH_3 (cloruro de metilo). Charles Kettering de la General Motors Corporation impulsó la investigación de nuevos compuestos que fueran menos tóxicos que el NH_3 . Se encargó de este trabajo Thomas Midgley que trabajaba en la Kinetic Chemical Company (más tarde llamada Freon Products Division) de Du Pont. En 1928 Midgley junto a Henne y Mc Nary identificaron y sintetizaron el diclorodifluorometano (R-12). No era tóxico, al uso de la época, ni inflamable. En una convención de la American Chemical Society Midgley anunció las fabulosas propiedades del R-12 llegando a efectuar una demostración práctica inhalando sus vapores y soplando después sobre una vela para demostrar que no era ni tóxico ni inflamable. La producción

comercial del R-12 empezó en 1931, la del R-11 en 1932, la del R-114 en 1933 y la del R-113 en 1934. El primer hidroc fluor derivado, el R-22, lo fue en 1936.(Córdova 2009)

1.2 Confort Térmico.

Bases fisiológicas para el acondicionamiento. El mantenimiento de un clima interior que sea satisfactorio fisiológica e higiénicamente, es de vital importancia para el diseño de una instalación de aire acondicionado, destinado al confort ambiental de las personas. Para poder determinar la influencia de los factores que afectan al bienestar, es necesario estudiar las relaciones que existen entre el hombre, su actividad y el ambiente en que vive. Se puede definir el confort ambiental como un estado de satisfacción del ser humano, respecto al medio en que vive, denominándose ergonomía a la ciencia que estudia los problemas de adaptación del hombre al ambiente. Las variables de las cuales depende esa sensación de bienestar pueden ser:

- Individuales
- Ambientales

Las variables individuales del confort dependen de la característica particular del ser humano y de muchos factores como ser el nivel de actividad, tipo de ropa, sexo, edad, estado de salud y para su análisis se debe considerar el intercambio de calor del cuerpo humano con el ambiente. En cambio, las variables ambientales están relacionadas con las modificaciones a producir al clima del local a acondicionar y los parámetros básicos que debe controlar un sistema de climatización, a fin de lograr el bienestar son la temperatura del aire y superficiales, la humedad relativa, el movimiento y la calidad del aire interior.

1.2.1 Metabolismo.

Uno de los procesos biológicos fundamentales del cuerpo humano es el metabolismo, mediante el cual los elementos provenientes de los alimentos, como el carbono e hidrógeno, se combinan con el oxígeno absorbido por los pulmones, para producir el calor y la energía destinada a la realización de los trabajos internos y externos que requieren energía mecánica. Estos esfuerzos físicos son voluntarios para el movimiento o involuntarios para la respiración circulación de la sangre, etc., constituyendo la porción

de energía mecánica consumida de un 5 a 25% según el trabajo realizado y el resto de la energía es disipada al ambiente.

El cuerpo humano se comporta como una máquina térmica que tiende por sí mismo a mantener en su interior una temperatura constante de aproximadamente 37°C, utilizando un mecanismo de autorregulación sensitivo y complicado, combinando varios medios físicos y químicos, como la variación de la cantidad de sangre enviada a la periferia del cuerpo y la modificación de la exudación producida por el organismo. De esa manera, si bien se logra compensar la variación de la temperatura ambiente, se origina cierta incomodidad desde el punto de vista térmico y por ese motivo, las instalaciones de climatización deben proporcionar las condiciones ambientales aptas para que el mecanismo de regulación de la temperatura del cuerpo funcione con el mínimo esfuerzo.

1.2.2 Regulación del calor del cuerpo humano.

La regulación de emisión de calor se efectúa por medio de un complicado proceso, cuyo objeto es mantener la temperatura del cuerpo en 37°C, mediante un equilibrio entre la producción y la emisión de calor al ambiente. Cuando este equilibrio se rompe, el organismo humano pone en marcha en forma involuntaria mecanismos naturales de regulación, que tienden a compensar esas perturbaciones, para mantener la temperatura interna constante, que se dividen en dos partes:

- Periférico
- Central

El mecanismo de regulación periférico efectúa el control de la circulación sanguínea cerca de la piel, mediante un centro de órdenes del cerebro, de modo que cuando desciende la temperatura del ambiente comienza a disminuir la disipación de calor del cuerpo, mediante la reducción de la circulación sanguínea y en forma inversa, si la temperatura aumenta, se incrementa la emisión mediante un mayor flujo sanguíneo. La regulación del calor periférico es insuficiente por sí solo, cubriendo cierto margen de temperatura. De modo que, la regulación del calor central del cuerpo aparece cuando la periférico no es suficiente, mediante el efecto de exudación en caso de altas temperaturas y tensiones musculares y escalofríos si se producen bajas temperaturas.

La regulación de la emisión de calor por evaporación, se produce por glándulas de sudor del cuerpo de alrededor de 2.000.000 que normalmente producen líquido, pero si la regulación periférica no es suficiente, se activan y si por ejemplo, durante un período de gran actividad la transpiración llega a 1 litro por hora, ello representa considerando un calor latente de evaporación de 600 kcal/kg, una disipación de 600 kcal/h. De modo que el proceso de evaporación se incrementa en función del grado de actividad y temperatura del cuerpo y si pese a la exudación no se logra compensar el calor originado, empieza a aumentar la energía interna y cuando se llega a los 43°C las consecuencias pueden ser letales.

En el caso contrario, si la temperatura desciende y no es suficiente la regulación periférica, se reduce la circulación sanguínea y comienza a actuar la regulación central mediante el aumento de las tensiones musculares y si ello aún no es suficiente, se producen los escalofríos. Finalmente si pese a este último mecanismo, la variación de energía interna sigue siendo negativa, el cuerpo cesa su actividad y se produce el inevitable descenso de la temperatura interna del mismo y cuando se alcanzan los 31°C, las consecuencias pueden también ser mortales.

1.2.3 Vestimenta.

La indumentaria del individuo juega un papel importante para el equilibrio térmico del cuerpo humano, dado que la misma tiene la función de aislar térmicamente la transmisión de calor del cuerpo al ambiente. La resistencia térmica del aislamiento de la vestimenta se expresa en la unidad clo, prefijo de la palabra inglesa clotting que significa vestido. 1 clo = 0,18 m² h°C/Kcal. En general se suele tomar un valor de aislamiento global efectivo de la vestimenta de 0,5 clo para el verano y 1 clo para el invierno como los valores medios en el interior de los locales para conjuntos de prendas para hombres y mujeres. Por ejemplo, se considera 0,5 clo una persona con pantalones livianos, camisas de manga corta y remera y 1 clo utilizando pantalones gruesos, camisa de manga larga y suéter.

1.2.4 Condiciones del local.

Las características del ambiente para lograr las condiciones de confort son muy importantes, si bien el cuerpo humano a causa de su mecanismo de regulación mantiene el equilibrio térmico dentro de un gran margen de variaciones. El confort térmico está

íntimamente relacionado con las condiciones del clima del local a acondicionar y los parámetros básicos que debe controlar un sistema de climatización, a fin de lograrlo son:

- Temperatura del aire y superficiales
- • Humedad relativa
- • Movimiento del aire

Los márgenes de temperatura dentro de los cuales la gente se siente cómoda dependen además, de gran parte de la ropa que usa, el grado de actividad física y el contenido de humedad de la atmósfera, pero para las personas ocupadas en actividades ligeras, los márgenes de confort son los siguientes:

- Invierno (ropaje normal) 1 clo: 18 - 23°C
- • Verano (ropas livianas) 0,5 clo: 23 - 27°C

El hecho de que los valores sean diferentes según se trate de invierno o verano se debe, al distinto ropaje y a las modificaciones del metabolismo. (Quadri 2001)

1.3 Gases refrigerantes. Principales características

El fluido térmico que circula en el sistema cerrado de refrigeración, es un gas refrigerante, y este fluido absorbe o cede calor en las diferentes etapas y equipos por donde va circulando y transformándose. Entonces un gas portador refrigerante no es más que una sustancia que tiene la capacidad de transportar e intercambiar calor con el medio ambiente, cediendo calor a alta temperatura y absorbiéndolo a baja temperatura. Un buen refrigerante debe cumplir múltiples cualidades, que por desgracia no todas pueden ser satisfechas a la vez. Hasta hoy no se ha logrado un refrigerante "ideal". Seguidamente se mencionan algunas de las principales cualidades a satisfacer. Se hace evidente que en la medida que la naturaleza del refrigerante sea tal que las presiones y las temperaturas de condensación se aproximen a las del ambiente, necesitaremos menos energía para comprimirlo y para enfriarlo, y con ello el indicador de consumo por unidad frigorífica también será menor. A la vez, si coincidiera que su diferencia en calor latente (respecto al ambiente) fuese lo suficientemente alto para realizar la transferencia de calor, requeriríamos menos cantidad de refrigerante para ejecutar el trabajo y con ello menos compresión. Ambas cualidades son primordiales en el consumo de energía. Se suman otras propias de la naturaleza química del refrigerante, las que proporcionarán poder realizar el trabajo de refrigeración con mayor o menor eficiencia. (Edwin 2005)

1.3.1 Clasificación de los refrigerantes:

En la clasificación de los refrigerantes utilizaremos el criterio de ASHRAE, de forma muy general en los tipos siguientes:

CFC:

(Flúor, Carbono, Cloro). Clorofluorcarbono. Son los primeros causantes del deterioro de la capa de ozono e internacionalmente ya se ha prohibido su fabricación y empleo. Contienen hidrógeno y flúor en su molécula y estos lo hacen muy estable en la atmósfera por largos periodos de tiempo. En esta familia encontramos los R11, R12, R115.

HCFC:

(Hidrógeno, Carbono, Flúor, Cloro). También afectan la capa de ozono pero en menor cuantía y su desaparición está prevista para el 2015. El R22 es el componente principal de la familia.

HFC:

(Hidrógeno, Flúor, Carbono). Son los nuevos refrigerantes. No presentan potencial destructor de la capa de ozono. En este grupo clasifican el R134 y el R404. Los nuevos refrigerantes HFC, tienden a sustituir a los CFC y los HCFC.

Derivados halogenados saturados

Proceden del metano, etano y propano por sustitución parcial o total de los átomos de hidrógeno por átomos de Cl, F. Pueden ser del tipo:

PFC:

Sólo contienen F y C. Se denominan perfluorocarbonados. El prefijo "per" hace referencia a que el compuesto tiene el máximo número posible de átomos de fluor. Son compuestos que no perjudican la capa de ozono (un ODP nulo).

Halones:

Contienen H, Br, F y C en su molécula. Se denominan hidrobromofluorocarbonados. Les afecta la misma prohibición que a los que contienen cloro en su molécula.

Derivados halogenados insaturados

Proceden de hidrocarburos insaturados por sustitución parcial o total de los átomos de hidrógeno por átomos de F, Cl o Br. Por ejemplo, el R-1140 es el 1-cloro-eteno.

Mezclas azeotrópicas

Con un solo fluido frigorífico se pueden obtener, a veces, las propiedades deseadas para

un tipo determinado de instalación. Sin embargo, en otras ocasiones debe recurrirse a mezclas para obtener un compendio ponderado de las propiedades según la composición. De esta forma se puede conseguir la eliminación o al menos la minoración de aspectos negativos o perjudiciales. Existen unas mezclas que funcionan como sustancias puras. Tienen un punto de ebullición constante. Son las mezclas azeotrópicas, por ejemplo, el R-500, el R-502 y el R-503.

Mezclas zeotrópicas

Las mezclas que no son azeotrópicas se llaman zeotrópicas y se caracterizan por no tener constante la temperatura de ebullición a una presión determinada. Durante el cambio de estado la temperatura no permanece constante, aumentando en la vaporización y disminuyendo en la condensación. La diferencia de temperaturas entre la final y la inicial recibe el nombre de deslizamiento y es un factor fundamental en la evaluación de estas mezclas. Interesa un deslizamiento corto. Si el deslizamiento es menor de 1 °C la mezcla zeotrópica puede considerarse casi azeotrópica. Las mezclas zeotrópicas que se consideran actualmente son el R-407a, el R-407b, el R-407c, el R-404a, el R-410a y el R-410b. A veces a estos frigorígenos se les llama la gama de los cuatrocientos

Hidrocarburos saturados

Algunos hidrocarburos saturados pueden utilizarse directamente como refrigerantes, otros forman parte de mezclas que se han propuesto como sustitutos de los CFC y HCFC. Por ejemplo el R-600, butano, es un componente minoritario del R-416A.

Hidrocarburos insaturados

Podemos decir lo mismo que lo dicho en el caso de los saturados. Algunos hidrocarburos insaturados forman parte de mezclas propuestas como sustitutos de los CFC y HCFC. Por ejemplo el R-1270, el propileno, es un componente minoritario del R-411b.

Compuestos orgánicos no alquílicos

Entre ellos están el eter etílico, la metil amina, el eter metílico y algunos más que deben mencionarse debido a su utilización pionera más que a su utilización actual puesto que son inflamables y tóxicos.

Compuestos inorgánicos

Están los gases simples, O₂, N₂, etc. y los compuestos inorgánicos, H₂O, NH₃, CO₂, etc.(MIRANDA 2010)

1.4 Propiedades físicas y químicas de los refrigerantes y de seguridad.

1.4.1 Propiedades Físicas:

- Presión de evaporación baja, aunque superior a la atmosférica.
- Presión de condensación lo más baja posible y alejada de la presión crítica.
- Temperatura crítica alta.
- Temperaturas de condensación asequibles a los medios naturales.
- Mínima relación de compresión.
- Calor latente de evaporación elevado.
- Relación de calores másicos $\gamma = c_p / c_v$ próxima a 1.
- Volumen específico reducido.
- Calores específicos de líquido y vapor limitados.
- Fluidez alta.
- Tensión superficial pequeña.
- Conductividad térmica lo más alta posible.

1.4.2 Propiedades Químicas:

Estabilidad química y térmica.

Comportamiento neutro con materiales normalmente empleados en circuitos.

Buena coexistencia con los aceites.

1.4.3 Propiedades de Seguridad

No tóxico.

No explosivo.

Fugas fácilmente detectable.

Disponibilidad, transporte y almacenamiento sencillos.

ODP de valor 0.

Barato. (Villamil Salcedo 2005)

1,5 Pasos fundamentales en el ciclo de refrigeración simple y órganos principales.

1.5.1 Expansión:

El refrigerante en estado líquido y a una presión y temperatura alta fluye hacia el control del flujo del refrigerante, allí la presión del líquido del refrigerante disminuye y se hace igual a la presión del evaporador, haciendo que la temperatura de saturación del refrigerante que entra al evaporador sea menor a la temperatura del ambiente o espacio refrigerado. Una parte del líquido se evapora al pasar por el control del refrigerante para hacer que la temperatura del líquido disminuya hasta la temperatura de evaporización.

1.5.2 Evaporación:

Estando el líquido en el evaporador, este se evapora a una presión y temperatura constante mientras que el calor necesario suministrado para el calor latente de evaporación pasa de las paredes del evaporador hacia el líquido que se evapora. Todo el refrigerante se evaporará en esta etapa.

1.5.3 Compresión:

Este gas vuelve a la unidad exterior para convertirse de nuevo en líquido. El primer paso es comprimir el gas para elevar su temperatura y así asegurar que tenga una mayor temperatura al exterior en cualquier momento. Este paso se efectúa en el compresor obteniendo gas a alta presión.

1.5.4 Condensación:

El vapor que proviene de la línea de descarga ingresa al condensador donde evacua calor hacia el aire relativamente frío que el ventilador del condensador hace circular. Inmediatamente de hacer este proceso la temperatura del vapor se reduce a la nueva temperatura de saturación que corresponde a la nueva presión y el vapor se condensa, volviendo al estado líquido de la primera etapa. Antes de que el refrigerante ocupe todo el espacio del condensador este se condensa en su mayoría y luego se subenfria. Después este líquido subenfriado pasa al receptor y quedara listo para una nueva circulación.(Rivera Ariza 2009)

1.5.5 Órganos principales.

La producción de frío mediante sistemas mecánicos está basada en leyes físicas que regulan la evaporación y la condensación de un fluido. En la Figura 1 se presentan los órganos principales de un equipo de refrigeración:

- 1 El compresor
- 2 El condensador
- 3 La válvula de expansión termostática
- 4 El evaporador
- 5 Los dispositivos de control y seguridad; tablero eléctrico de alimentación de la fuerza motriz.

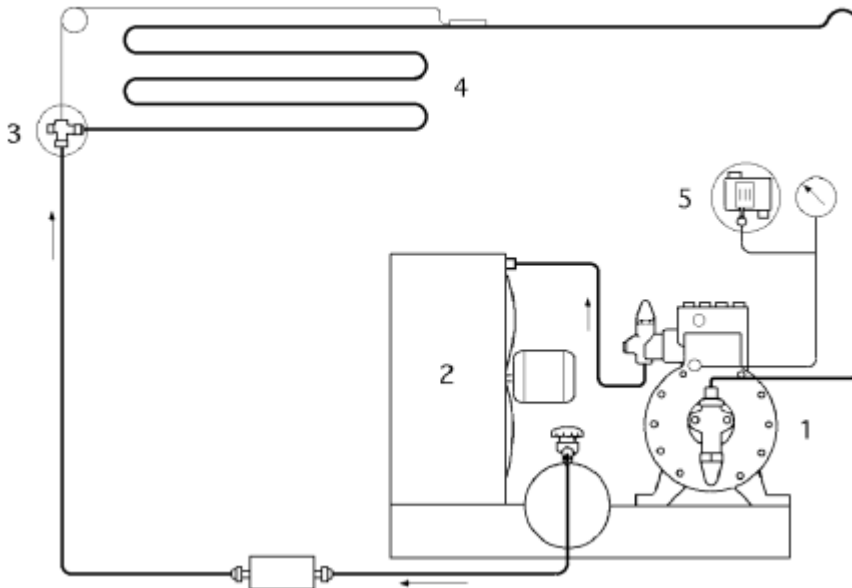


Figura 1.- Órganos principales de un equipo de refrigeración. (Fernández Diez 2013)

1.6 Ciclo estándar de compresión de vapor.

Sigue siendo un ciclo ideal pero está mucho más cerca de lo técnicamente posible, ver figura 2.

- Proceso 1-2 (Compresor):

Compresión isentrópica desde vapor saturado a la presión de evaporación hasta la presión de condensación.

- Proceso 2-3 (Condensador):

Evacuación de calor a presión constante (enfriamiento sensible + condensación).

- Proceso 3-4 (Válvula de expansión):

Expansión adiabática e irreversible (isentálpica) desde líquido saturado hasta la presión de evaporación.

- Proceso 4-1 (Evaporador):

Absorción de calor a presión constante hasta vapor saturado (evaporación).

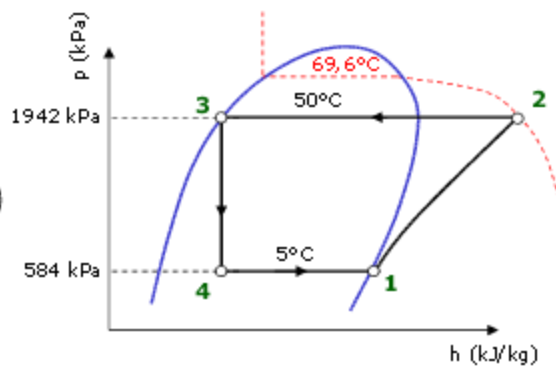
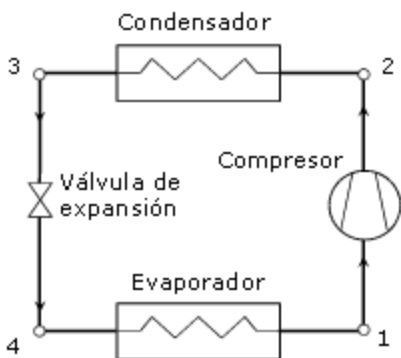
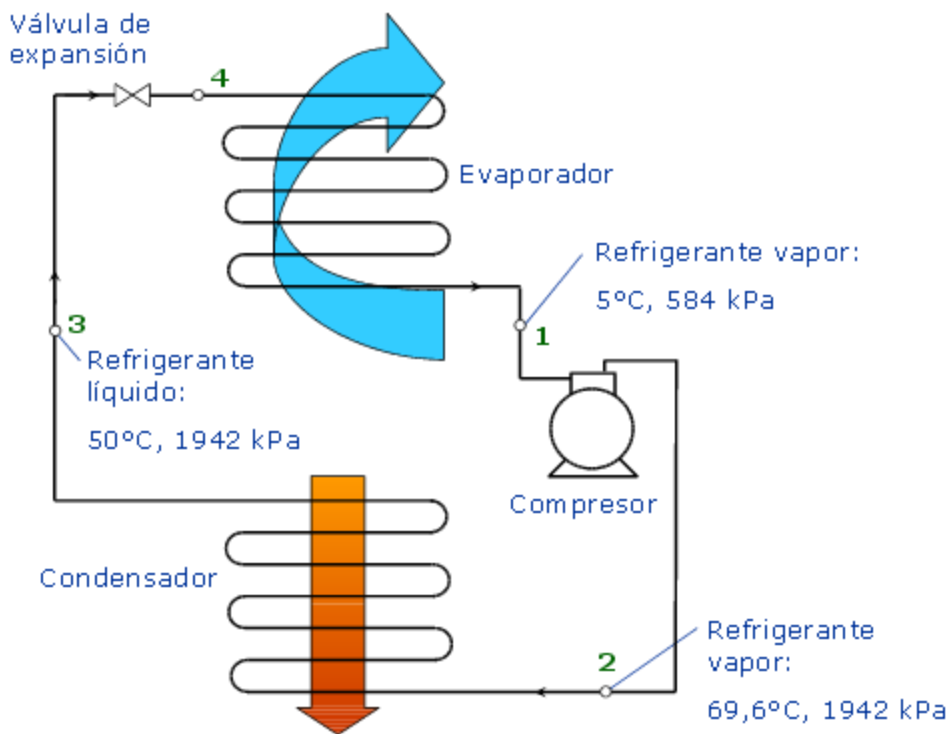


Fig 2. Ciclo estándar por compresión de vapor.

Si comparamos el COP del ciclo de Carnot con el del ciclo de estándar de compresión de vapor, vemos que existe una diferencia de eficiencia. Ya que el COP del ciclo estándar no sólo depende de las temperaturas de evaporación y condensación, también depende de las propiedades del refrigerante usado.

El COP para todos los refrigerantes (los más usados) es muy parecido. Como primera estimación del COP se puede usar el siguiente número índice:

Calcular el COP de Carnot, usar la gráfica inferior en la figura 3 para ver cuál es el del ciclo estándar y después multiplicar por 0.8 (rendimiento típico del compresor) para estimar del COP del ciclo real.(Toro 2005)

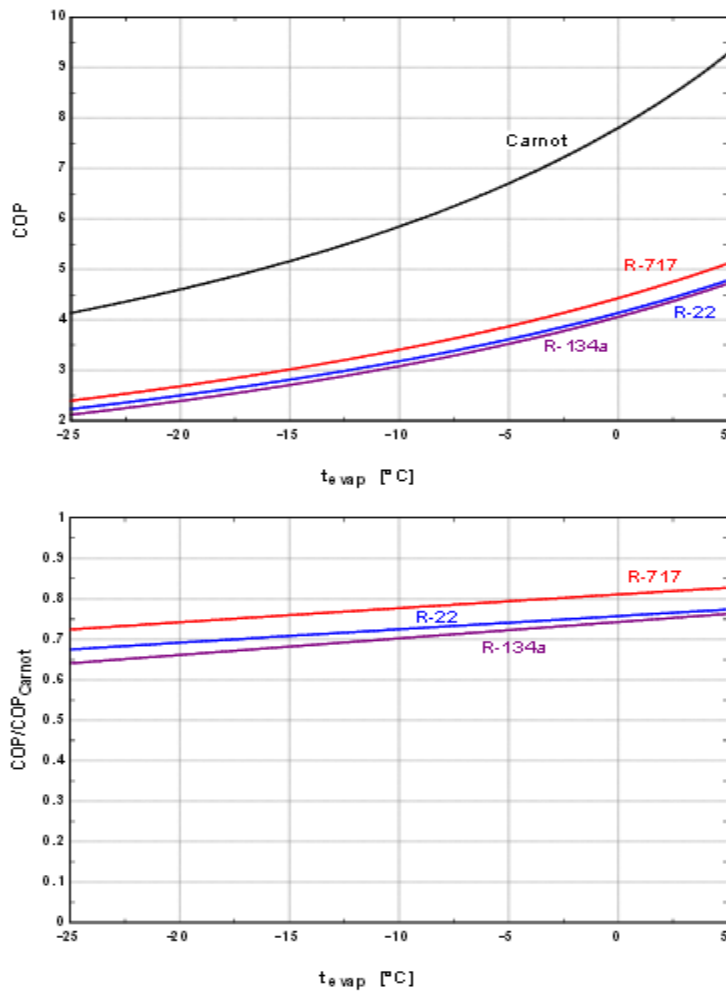


Fig3. Representacion del diagrama de un ciclo estándar por compresión de vapor.

1.6.1 Subenfriamiento del líquido y recalentamiento del vapor.

Causas de un recalentamiento del vapor:

- Proteger el compresor asegurando compresión seca (golpe de líquido)
- Posible calentamiento en la línea de aspiración, diferencia si es dentro o fuera del local a refrigerar.
- Evaporador sobredimensionado puede recalentar.
- El COP suele bajar

Causas de un subenfriamiento del líquido:

- Enfriamiento en la línea de líquido (bajo salto térmico)
- Condensador sobredimensionado
- COP sube ligeramente.
- Suele utilizarse un intercambiador intermedio para asegurar el recalentamiento ver parte inferior de la figura 4.

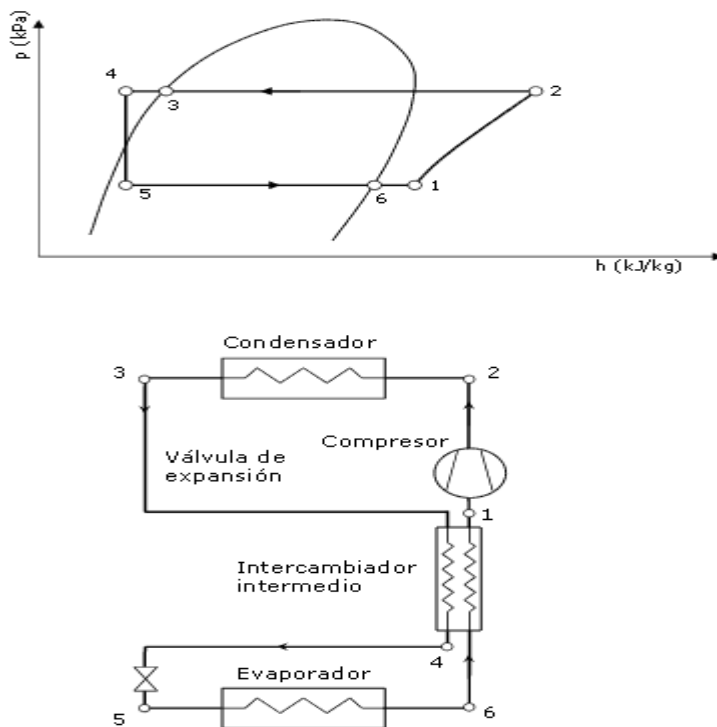


Fig 4. Diagrama de un subenfriamiento del líquido y recalentamiento del vapor.(Welch 2000)

1.7 Climatización y sus aplicaciones

1.7.1 Climatización ordinaria, de interiores o de confort:

Todo tipo de aire acondicionado cuya función principal sea la climatización para comodidad del ser humano se denomina aire acondicionado de interiores. Las instalaciones ordinarias de aire acondicionado de interiores se encuentran en los hogares, escuelas, oficinas, iglesias, hoteles, negocios de venta al detalle, edificios públicos, fábricas, automóviles, autobuses, trenes, aviones, buques, etc. De gran importancia puesto que diversos estudios señalan que el 90 % de la actividad humana ocurre en espacios cerrados en países desarrollados.

1.7.2 Aire Acondicionado de Vehículos:

El uso del aire acondicionado en los automóviles ha aumentado considerablemente en las últimas décadas y, en los países de clima cálido, el aire acondicionado es un equipo común en los automóviles.

1.7.3 Aire acondicionado industrial:

Toda climatización que no tenga por finalidad principal el acondicionamiento de aire para comodidad del ser humano se denomina aire acondicionado o climatización industrial. Esto no significa necesariamente que los sistemas industriales de aire acondicionado no puedan servir también para fines de climatización de interiores de manera coincidente con su función principal. A menudo este es el caso, aunque no siempre. Las aplicaciones de la climatización industrial son casi ilimitadas, tanto en número como en variedad. De manera general, las funciones de los sistemas de climatización industrial consisten en:

1. El control del contenido de humedad de los materiales higroscópicos.
2. El control del ritmo de las reacciones químicas y bioquímicas.
3. La limitación de las variaciones en el tamaño de los artículos de precisión fabricados provocadas por la expansión y contracción térmicas.
4. El suministro de aire puro filtrado que es a menudo indispensable para un funcionamiento correcto y para la producción de artículos de calidad.

1.8. Clasificación de los Sistemas Todo Refrigerante.

Sistemas todo refrigerante: Se trata de instalaciones donde el fluido que se encarga de compensar las cargas térmicas del local es el refrigerante. Dentro de estos sistemas podemos englobar los pequeños equipos autónomos (split y multisplit). Su regulación

puede ser todo o nada o los sistemas de refrigerante variable mediante inverter, (**Ver Anexo 1**)

También se pueden clasificar en función de si se trata de un sistema unitario o un sistema centralizado:

- Un sistema unitario utiliza un equipo donde todos los elementos son montados por el fabricante y se venden de una pieza.
- Un sistema centralizado es aquel donde los componentes se encuentran separados y son instalados y montados por el instalador.

Otra clasificación que podemos encontrar es por la zona a que climatiza, distinguiendo así sistemas de una única zona y sistemas multizona:

- Sistemas de una única zona son aquellos que climatizan sólo una zona del local.
- Sistemas multizona son aquellos que pueden acondicionar de forma satisfactoria un número de diferentes zonas.

Los sistemas todo refrigerante sólo se emplean en instalaciones de pequeña o mediana potencia. En estos sistemas se emplean tuberías de refrigerante que transportan el frío y calor hasta los locales a climatizar. Podemos distinguir entre:

- **Sistemas individuales:** Es el sistema de climatización más elemental formado por una pequeña unidad de habitación. Si el sistema es de una capacidad adecuada puede servir a un espacio de mayores dimensiones mediante una pequeña red de conductos de aire. Estas unidades autónomas encuentran su aplicación en las habitaciones pequeñas o grandes y zonas segregadas. También se instalan estas unidades en residencias particulares, oficinas, establecimientos comerciales o grupos de oficinas que constituyen zonas individuales. (**Ver Anexo 2 y 4**). (Alarcón Creus 1976)

1.9 Refrigeración y Medio Ambiente:

Los refrigerantes tienen fundamentalmente dos impactos negativos sobre el medio ambiente. El primero, de forma indirecta, es por el consumo de energía eléctrica generada en grandes industrias mediante el proceso de combustión, que libera CO₂ a la atmósfera dando a lugar el efecto invernadero y al cambio climático global, el segundo es por el uso

de refrigerantes clorofluorocarbonados que dan en efecto directo la destrucción de la capa de ozono durante sus fugas. Para entender más sobre lo antes dicho primero se debe conocer los conceptos de:

1.9.1 Medio ambiente:

El medio ambiente natural o entorno natural abarca todos los seres vivos y no vivos que interaccionan naturalmente, lo que significa que en este caso no es artificial. El término se aplica con mayor frecuencia a la Tierra o algunas partes de la Tierra. Este entorno abarca la interacción de las especies vivas, el clima, y los recursos naturales que afectan la supervivencia humana y la actividad económica. El concepto de medio ambiente natural se puede distinguir como componentes:

- Unidades ecológicas completas que funcionan como sistemas naturales, incluida toda la vegetación, los microorganismos, el suelo, las rocas, la atmósfera y los fenómenos naturales que ocurren dentro de sus límites y su naturaleza.
- Los recursos naturales universales y los fenómenos físicos que carecen de límites definidos, como el aire, el agua y el clima, así como la energía, la radiación, la carga eléctrica y el magnetismo, no se originan en acciones humanas civilizadas.

1.9.2 Calentamiento global:

Se refiere a la tendencia a incrementar que durante los últimos 150 años ha mostrado la temperatura global del planeta, fenómeno que se atribuya al efecto de la contaminación humana, en particular a la quema de combustibles fósiles como el carbón y el petróleo y a la tala de bosques.(Jaramillo 2004)

1.9.3 Efecto invernadero:

Se refiere a un mecanismo por el cual la atmósfera de la Tierra se calienta. Ha existido desde que la Tierra tiene atmósfera (hace unos 4,000 millones de años), es un mecanismo de suma importancia para lograr que nuestro planeta sea un lugar adecuado para que la vida exista en él. El efecto invernadero es un proceso en el que la radiación térmica emitida por la superficie planetaria es absorbida por los gases de efecto invernadero (GEI) atmosféricos y es irradiada en todas las direcciones. Como parte de esta radiación es devuelta hacia la superficie y la atmósfera inferior, ello resulta en un incremento de la

temperatura superficial media respecto a lo que habría en ausencia de los GEI (ver **Anexo 5**). (Ortega 2007)

1.9.4 Cambio climático:

Se define como la variación en el estado del sistema climático, formado por la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la litosfera y la biosfera, que perdura durante periodos de tiempo suficientemente largos hasta alcanzar un nuevo equilibrio. Puede afectar tanto a los valores medios meteorológicos como a su variabilidad y extremos.

Los cambios climáticos incluyen a todas las variaciones del clima que han ocurrido durante de la historia del planeta (4,000 millones de años) y que están asociadas a factores como cambios en la actividad solar, en la circulación oceánica, en la actividad volcánica o geológica, en la composición de la atmósfera, en los cambios en los parámetros orbitales, la deriva continental, procesos bióticos o impactos de meteoritos. El cambio climático actual es antropogénico y se relaciona principalmente con la intensificación del efecto invernadero debido a las emisiones industriales procedentes de la quema de combustibles fósiles.

Los científicos trabajan activamente para entender el clima pasado y futuro mediante observaciones y modelos teóricos. Para ello recopilan un registro climático del pasado remoto de la Tierra basado en la evidencia geológica a partir de sondeos geotécnicos de perfiles térmicos, testigos de hielo, registros de la flora y fauna como crecimiento de anillos de árboles y de corales, procesos glaciares y periglaciares, análisis isotópico y otros análisis de las capas de sedimento y registros de los niveles del mar del pasado. Cualquier variación a largo plazo observado a partir de estos indicadores (proxies) puede indicar un cambio climático. (Jaramillo 2004)

1.9.5 Impacto de los refrigerantes clorofluorocarbonados:

Los CFC y los HCFC (en menor medida) dañan la capa de ozono (O₃) debido a que los rayos ultravioleta van liberando las moléculas de cloro a medida que ascienden a la estratosfera. Una vez allí reaccionan con el ozono creando monóxido de cloro y de oxígeno.

El **ODP** es el parámetro que cuantifica el potencial de destrucción que se produce en la capa de ozono por compuestos que la agotan.

Como se sabe, la acumulación de gases en la segunda capa de la atmósfera terrestre (estratosfera) provoca el efecto invernadero, aumentando la temperatura media del planeta debido a que la radiación solar se convierte en calor al contactar con la tierra y quedar atrapada.

GWP es el potencial de efecto invernadero y se define como el parámetro que evalúa la capacidad para alterar el balance de energía radiada entre la Tierra y la atmósfera. Este es un indicador relativo que expresa el efecto climático que produce un determinado gas en comparación con el gas de referencia (CO₂).

El mayor control debería incidir en la eliminación de las fugas de refrigerante que se producen en los aparatos de las instalaciones, ya que los efectos negativos sobre el medio ambiente podrían reducirse enormemente.

A la fuga o pérdida de gases en las instalaciones durante el mantenimiento se llama efecto invernadero directo. El efecto invernadero indirecto es el producido por la emisión de CO₂ a la atmósfera como consecuencia de la utilización de este refrigerante como fluido de trabajo.

1.9.6 Sustancias agotadoras de la capa de ozono y sus sustitutos:

Entre los principales compuestos agotadores de la capa de ozono se encuentran los siguientes:

Los **CFC (Clorofluorcarbono)**, los cuales han sido altamente utilizados en el contexto mundial para refrigeración, acondicionamiento de aire y espumación, como solventes, esterilizantes y propulsores en aerosol con un potencial de agotamiento del ozono desde 0.8 a 1.

Los **Halones** también producen un efecto aún más crítico que los CFC ya que el bromo puede reaccionar con el ozono entre diez y cien veces más que el cloro con un potencial de agotamiento del ozono desde 3 a 10.

Otras sustancias como el bromuro de metilo, se utiliza con gran frecuencia representa una amenaza para la capa de ozono con un potencial de agotamiento del ozono desde 0.1 a 1.1.

Sustitutos:

Tras el descubrimiento del daño causado a la capa de ozono por los CFC y otras sustancias, y la celebración del Protocolo de Montreal para el establecimiento de un

cronograma que conllevara a su eliminación definitiva, la industria mundial ha trabajado en el desarrollo de alternativas de sustitución para encontrar sustancias que no afecten a la capa de ozono.

Entre los principales compuestos sustitutos se encuentran los hidroclorofluorocarbonos(HCFC), los hidrofurocarbonos (HFC), los hidrocarburos (HC) y algunos refrigerantes naturales como el amoníaco y el dióxido de carbono (CO₂).

Los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) han sido utilizados para sustituir a los clorofluorocarbonos (CFC) en algunas aplicaciones, dada su breve permanencia en la atmósfera que, en consecuencia, causa un menor agotamiento del ozono.

Por otra parte, los HFC (los hidrofurocarbonos) y los PFC (perfluorocarbonos) son utilizados también como sustitutos porque no contienen el bromo ni cloro y no causan un agotamiento considerable del ozono. Sin embargo, todas estas sustancias son generadoras de efecto invernadero y, por lo tanto, contribuyen en distinta medida al cambio climático.

Otras opciones de sustitución son el amoníaco y las sustancias orgánicas, cuyas emisiones directas tienen efecto muy reducido en el clima, aunque sus emisiones indirectas pueden afectar el sistema. (Monroy 2012)

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS.

El Hotel Meliá Península está compuesto por 20 bungalow, 2 bungalow de 24 habitaciones, 13 bungalow de 36 habitaciones y 5 bungalow de 16 habitaciones, que hacen el total de 596 habitaciones climatizadas. Estos aires acondicionados que garantizan el confort de las habitaciones del Hotel, se encuentran ubicados en los áticos de los edificios, en los cuales por problemas de poca ventilación, debido fundamentalmente a un deficiente diseño arquitectónico, las temperaturas del aire circundante a estos splits rebasa normalmente los 60 ° C, cuando debieran trabajar por diseño con una temperatura de 32 ° C, esta situación eleva la presión de descarga del compresor, aumentando la potencia necesaria a entregar por este, por lo que también se incrementa el consumo de energía eléctrica y el deterioro del compresor. Para la determinación de este sobreconsumo y la realización de varias propuestas se emplearon varias herramientas de medición y métodos de cálculo, cuya descripción de los mismos constituye el objetivo de este capítulo.

2.1 Metodología para la evaluación energética del ciclo de refrigeración.

Para determinar el sobreconsumo de energía eléctrica debido a la variación de las condiciones de diseño exterior, como primer punto se evalúa el ciclo de refrigeración de compresión de vapor, partiendo de los datos aportados por el fabricantes, que se conocen como datos de chapa que se muestran a continuación; y como segundo punto, proponer un cambio de refrigerante de R 22 a 410 Apara minimizar el consumo eléctrico.

Capacidad: 12 000 BTU/hr

Q ₀ (kW)	3,51
T ₀ (°C)	7
T _k (°C)	32
T _k ' (°C)	60
P _s (MPa)	0,62
P _d (MPa)	1,26
P _d ' (Mpa)	2,44

- Refrigerante: R-22

- Consumo: 1 700 W = 1,7 kW
- Otros datos: 220 V, 1 fase, 60 Hertz

Cálculo del flujo másico de refrigerante.

$$Q_o = m_r \cdot (i_5 - i_4) \tag{2.1}$$

Q_o Capacidad frigorífica. (kW)

i_4 Entalpía a la salida de la válvula de expansión. (kJ/kg)

i_5 Entalpía a la entrada del compresor. (kJ/kg)

m_r Flujo de refrigerante (kg/s)

Despejando la ecuación 2.1 se obtiene:

$$m_r = \frac{Q_o}{(i_5 - i_4)}$$

Cálculo del volumen real del compresor.

$$m_r = \frac{V_r}{v_{asp} \cdot 3600} \tag{2.2}$$

m_r Flujo de refrigerante (kg/seg)

v_{asp} Volumen específico de aspiración del compresor. (m³/kg)

Este es, durante la evaluación de un sistema de refrigeración cualquiera, el dato más difícil de obtener, mientras más exacto se determine más real será el resultado obtenido, y mayor confiabilidad tendrán los resultados

Despejando la ecuación 2.2 se obtiene:

$$V_r = m_r \cdot v_{asp} \cdot 3600$$

Balance energético del compresor.

Para poder realizar cualquier análisis, resulta imprescindible calcular el flujo de refrigerante que maneja la instalación, como no se cuenta con este valor deberá efectuarse un balance del compresor, partiendo de sus características constructivas, en este caso estamos en presencia de un compresor reciprocante, de pistón o alternativo y para el mismo se puede emplear el siguiente método:

$$\eta_v = \eta_c \cdot \eta_{es} \cdot \eta_w \cdot \eta_h \quad (2.3)$$

η_v → Rendimiento volumétrico.

η_c → Rendimiento que tiene en cuenta al espacio muerto.

η_{es} → Rendimiento que tiene en cuenta a las pérdidas hidráulicas en succión y descarga.

η_w → Rendimiento que tiene en cuenta las pérdidas por calentamiento del refrigerante.

η_h → Rendimiento que tiene en cuenta la falta de hermeticidad.

El rendimiento que tiene en cuenta al espacio muerto multiplicado por el rendimiento que tiene en cuenta a las pérdidas hidráulicas en succión y descarga, se conoce como rendimiento volumétrico indicado (η_i)

$$\eta_i = \eta_c \cdot \eta_{es} \quad (2.4)$$

Y puede ser calculado a través de la ecuación:

$$\eta_i = \frac{P_{adm} - dp_{adm}}{P_{adm}} - C \cdot \left(\frac{P_{esc} + dp_{esc}}{P_{adm}} - \frac{P_{adm} - dp_{adm}}{P_{adm}} \right) \quad (2.5)$$

P_{adm} → Presión en la admisión, MPa.

P_{esc} → Presión en la descarga, MPa.

dp_{esc} → Pérdidas por la fricción en la descarga, (MPa).

dp_{adm} → Pérdidas por la fricción en la admisión, (MPa).

C → Coeficiente que tiene en cuenta el espacio muerto.

Los valores para los diferentes coeficientes anteriormente mencionados son los siguientes:

$dp_{adm} = (0,05 \div 0,06)$ → aconsejado: 0,05 MPa

$dp_{esc} = (0,1 \div 0,13)$ → aconsejado: 0,1 MPa

$C = (0,03 \div 0,05)$ → aconsejado: 0,04

El rendimiento volumétrico η_v puede hallarse a través de la ecuación siguiente:

$$\eta_v = \eta_i \cdot \eta_w \cdot \eta_h \quad (2.6)$$

Para el caso de las pérdidas debido al calentamiento del refrigerante se tiene que:

$$\eta_w = \frac{T_o}{T_k} \quad (2.7)$$

T_o Temperatura de succión (K)

T_k Temperatura de descarga (K)

El coeficiente que tiene en cuenta las pérdidas por falta de hermeticidad en el compresor, toma valores entre (0,96÷0,98).

$$\eta_h = (0,96 \div 0,98) \quad \rightarrow \text{aconsejado: } 0,96$$

El rendimiento volumétrico conceptualmente lo podemos definir como la relación que existe entre el caudal volumétrico que entra en el compresor y el volumen barrido por unidad de tiempo; o sea, es la relación entre el volumen real y el teórico, por lo que también se puede calcular con la siguiente expresión:

$$\eta_v = \frac{V_r}{V_d} \quad (2.8)$$

Donde: $V_r \rightarrow$ Volumen real del compresor, m³/hr.

$V_d \rightarrow$ Volumen de desplazamiento del compresor, m³/hr.

Despejando la ecuación 2.8 obtenemos:

$$V_d = \frac{V_r}{\eta_v}$$

Cálculo de la potencia real.

$$N_{real} = \frac{N_{ideal}}{\eta_{ri}} \quad (2.9)$$

N_{real} Potencia real. (kW)

N_{ideal} Potencia ideal. (kW)

η_{ri} Rendimiento relativo interno.

Donde:

$$N_{ideal} = m \cdot r \cdot (i_{d_2} - i_1) \quad (2.10)$$

i_1 Entalpía a la salida del compresor. (kJ/kg)

i_{d_2} Entalpía a la salida del condensador. (kJ/kg)

Para freones el valor de beta toma el valor de 0,0025, por lo que podemos calcular el rendimiento relativo interno mediante la siguiente ecuación:

$$\eta_{ri} = \eta_w + (\beta_a \cdot t_o) \quad (2.11)$$

Cálculo de la potencia eléctrica consumida por el compresor.

$$N_{ele} = \frac{N_{mec}}{\eta_{ele} \cdot \eta_T} \quad (2.12)$$

N_{ele} Potencia eléctrica. (kW)

N_{mec} Potencia mecánica. (kW)

η_{ele} Coeficiente eléctrico del motor.

η_T Eficiencia de la transmisión.

Y la potencia mecánica como:

$$N_{mec} = N_{real} + N_{fric} \quad (2.13)$$

N_{fric} Potencia de fricción (kW)

Como en este caso el acoplamiento es directo, o sea es un eje continuo o en muchos casos un mismo cuerpo, entonces $\eta_T=1$. Mientras que la potencia mecánica se determinará como la suma de la potencia real y el factor que considera las pérdidas por fricción en el compresor, esta última se determinará por:

$$N_{fric} = P_{fric} \cdot V_d \quad (2.14)$$

P_{fric} Pérdidas por fricción (kPa), para freones es de 40 kPa, para amoníaco 60 kPa.

Cálculo del coeficiente de efecto frigorífico.

$$COP_{real} = \frac{Q_o}{N_{real}} \quad (2.15)$$

COP_{real} Coeficiente de efecto frigorífico.

Cálculo del coeficiente de efecto frigorífico eléctrico.

$$COP_{efec} = \frac{Q_o}{N_{ele}} \quad (2.16)$$

2.2 Determinación de los sobre consumos de energía eléctrica.

En aquellos problemas donde lo que se quiere es comprobar el comportamiento del ciclo de refrigeración para distintas condiciones de trabajo se debe obtener los parámetros antes calculados para las nuevas condiciones aplicando la misma metodología, por eso es muy conveniente apoyarse en herramientas computacionales.

Ahora se analizan las variaciones que experimentan la potencia frigorífica, la potencia eléctrica y el coeficiente de efecto frigorífico efectivo al aumentar la presión de condensación:

$$\%Q_o = \left[\left(\frac{Q_o - Q'_o}{Q_o} \right) \cdot 100 \right] \quad (2.17)$$

$$\%N_{elec} = \left[\left(\frac{N_{elec} - N'_{elec}}{N_{elec}} \right) \right] \quad (2.18)$$

$$\%COP_{efec} = \left[\left(\frac{COP_{efect} - COP'_{efect}}{COP_{efect}} \right) \right] \quad (2.19)$$

El incremento de la presión de condensación provoca un sobreconsumo de energía eléctrica, la cual es debido a dos causas fundamentales:

- a) Incremento de la potencia eléctrica como consecuencia directa del aumento de la presión de condensación.
- b) Disminución de la capacidad frigorífica, lo cual provoca un incremento del tiempo de funcionamiento de la instalación para poder obtener la temperatura de enfriamiento deseada, lo más común es que trabaje entre 18 y 20 horas al día, con un mínimo de 16 horas, cuando se necesita la refrigeración las 24 horas (por ej. cámaras frías, refrigeradores, etc.).

Cálculo del sobreconsumo de electricidad.

El sobreconsumo de electricidad debido al incremento de la potencia eléctrica se puede calcular de la forma siguiente:

$$\Delta E_{el_N} = (N'_{elec} - N_{elec}) \cdot \tau_{func} \quad (2.20)$$

La capacidad de frío media al día, suponiendo que el equipo trabaje en sus parámetros normales:

$$\bar{Q} = Q_o \cdot \tau_{func} \quad (2.21)$$

T_{func} Tiempo de funcionamiento.

\bar{Q} Capacidad frigorífica media al día.

El tiempo de operación que se incrementa por la afectación de la capacidad frigorífica a través de la relación:

$$\tau_{func_{nuevascond}} = \frac{\bar{Q}}{Q_o}$$

El sobreconsumo producto al incremento del tiempo de trabajo será:

$$\Delta E_{el_T} = N'_{elec} \cdot (\tau_{func_{nuevascond}} - \tau_{func}) \quad (2.22)$$

El sobreconsumo total de electricidad será por tanto la suma de los sobreconsumos obtenidos para ambos casos entonces:

$$\Delta E_{el} = \Delta E_{el_N} + \Delta E_{el_T} \quad (2.23)$$

En el hotel el costo promedio de la electricidad es de 0.18 \$/Kw horas, por lo que el importe total del sobreconsumo en un año suponiendo que este trabaje así durante los 365 días del año, se obtiene:

$$\Delta E_{el} = \Delta E_{el} \cdot 0,18 \$ / Kw - hr \quad (2.24)$$

2.3 Propuesta de cambio de split por multisplit y de cambio de refrigerante.

Se propone un cambio de los Split por sistemas de multisplit ya que estos pueden ser ubicados fuera de los áticos donde pueden trabajar a la temperatura a la que fueron diseñados, pero además, si se le agrega la propuesta de cambiar el refrigerante R-22 por el R-410 A, que además de ser ecológico ahorra de un 20 a un 30 % del consumo de electricidad en el compresor el ahorro aún sería mayor. En resumen se propone que los multisplit sean de refrigerante R-410 A que consumen como máximo 1,3 kW por Tnr, buscando en los catálogos de las firmas LG y Panasonic se realiza la siguiente propuesta:

- Bungalow 24 habitaciones: Multisplit de 30 Tnr Precio: \$ 7 500
Total:\$ 15000
- Bungalow 36 habitaciones: multisplit de 40 Tnr Precio: \$ 10 000
Total:\$130000
- Bungalow 16 habitaciones: multisplit de 20 Tnr Precio: \$ 5 000
Total:\$ 25000
- Inversión: \$ 170 000

Con lo cual no solo se garantizaría el confort de las habitaciones, también se le puede dar mantenimiento al equipamiento sin tener que sacar de orden alguna habitación, lográndose además el siguiente ahorro de energía por utilizarse un refrigerante más económico:

$$AEr = [(N_{R22}-N_{R410})] \cdot Htd \cdot Dta \cdot Thab \cdot \% Oc$$

(2.25)

Donde:

AEr Ahorro de energía anual por cambio de refrigerante, kW.hr/año.

N_{R22} y N_{R410A} → Potencia eléctrica para los dos refrigerantes, kW.

Para $N_{R22}=1,7$ kW y $N_{R410A}=1,3$ kW

Htd → Horas de trabajo al día, hr/día.

Dta → Días de trabajo al año, días/año.

Thab → Total de habitaciones climatizadas.

% Oc → Por ciento ocupacional lineal anual del Hotel, adimensional en fracción.

El ahorro de energía total que puede alcanzarse con la propuesta realizada sería de:

$$AEt = AE + AEr. \tag{2.26}$$

Donde:

AE Ahorro de energía anual por cambio de split.

Aet Ahorro de energía anual total.

2.4 Cálculo económico.

La inversión incluye los multi-splits propuestos, más los conductos de extracción del aire caliente y la mano de obra y grúas para el montaje:

$$\text{Inversión} = \text{Multisplit } \$ + \text{Conductos } \$ + \text{Mano de obra } \$ \quad (2.27)$$

El tiempo de recuperación de la inversión se determina por la siguiente expresión:

$$T_r = \frac{\text{Inversión}}{\Delta E_t} \quad (2.28)$$

Tiempo de recuperación de la inversión, se determina por la siguiente expresión:

$$T_r = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro}} \quad (2.29)$$

2.5 Impacto ambiental debido al sobreconsumo de energía eléctrica.

El gasto de petróleo que se origina debido al sobreconsumo de energía eléctrica se puede calcular si se conoce el consumo específico de combustible (b) para producir 1 KW de energía eléctrica, en el caso de Cuba ese valor oscila sobre los 0,28 kg de pet/KW horas (280 g / KW horas):

$$G_{pet} = \$ \Delta E_{el} \cdot B_c \quad (2.30)$$

Donde:

Cah → Combustible fósil ahorrado al año, Ton/año

Bc → Consumo específico de combustible del País, g/kW.hr(Alonso 2015)

Emisión de CO₂.

La determinación de las emisiones de CO₂ a la atmosfera se realiza mediante la [Hoja de Cálculo de Microsoft Office Excel](#) (Cálculo de Emisiones de CO₂).

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Ante las condiciones de trabajo de los 596 Split, expuestas anteriormente, en las habitaciones del Hotel Meliá Península se realiza a continuación una interpretación de los resultados obtenidos mediante la sustitución de la metodología explicada en el capítulo 2 en una hoja de cálculo de Microsoft Office Excel. Donde se podrá apreciar cuales son las consecuencias de un mal diseño al no tener en cuenta que el aire del condensador podría recircular en los áticos y alcanzar elevadas temperaturas de hasta 60 °C, implicando el sobreconsumo de electricidad, que conllevan a gastos innecesarios para el desarrollo de la economía del país, contribuyendo al deterioro de la capa de ozono y la destrucción del medio ambiente.

3.1 Resultados de la evaluación energética del ciclo de refrigeración.

Para la búsqueda de las propiedades termodinámicas de los refrigerantes se utiliza el software Coolpack (ver **Anexo3**) obteniendo los datos mostrados en la tabla 3.1.

Parámetros	Para la presión (MPa)	Para la presión (MPa)
	1,26	2,44
i_1 (kJ/kg)	412	412
i_2 (kJ/kg)	430	447
$i_3 = i_4$ (kJ/kg)	239	278
i_5 (kJ/kg)	408	408
v_{asp} (m ³ /kg)	0,039	0,039

Tabla 3.1 Entalpías y volumen específico del R-22 para un ciclo de refrigeración por compresión de vapor básico.

3.2 Comparación de los resultados del cálculo para las condiciones de trabajo indicadas por el fabricante y las condiciones de trabajo actuales.

En esta tabla se puede comparar cómo actúa el ciclo de refrigeración cuando aumenta la temperatura en el condensador. Estos resultados fueron obtenidos mediante la simulación del comportamiento del ciclo utilizando el paquete matemático Coolpack y la Hoja de

[Cálculo de Microsoft Excel](#) (Evaluación del ciclo de refrigeración). Al analizar el incremento de la presión de condensación se observa como disminuye el flujo de refrigerante y la capacidad frigorífica, lo que conlleva consigo a que el compresor aumente el consumo eléctrico viéndose reflejado en el aumento presente en la potencia real y que disminuya el COP eléctrico.

Parámetros	Presión de 1,26 MPa	Presión de 2,44 MPa
Q_0	3,51	2,256
m_r	0,020	0,017
V_r	2,916	2,437
n_i	0,868	0,792
n_w	0,918	0,841
n_h	0,96	0,96
n_v	0,765	0,64
V_d	3,81	3,81
N_{ideal}	0,374	0,727
n_{ri}	0,936	0,858
N_{real}	0,4	0,847
n_t	1	1
N_{fric}	0,042	0,042
N_{mec}	0,442	0,889
N_{ele}	0,497	0,999
COP_{real}	8,784	2,664
COP_{elect}	7,069	3,513

Tabla 3.2 Resultados del cálculo para las condiciones de trabajo indicadas por el fabricante y las actuales.

3.3 Análisis del sobreconsumo de un aire acondicionado tipo Split.

ΔE_{elN}	5,026	Por el número total de habitaciones climatizadas
\bar{Q} (kW.hr/día)	35,1	
$T_{funcnuevascond}$ (hr/día)	15,557	
ΔE_{lt} (kW.hr/día)	5,552	
ΔE_{l} (kW.hr/día)	10,578	4097,983
E_{ltk} kW.hr/ año	3861,032	1 495 763,862
$\Delta E_{lt\$}$ (\$/año)	694,986	269 237,495
G_{pet} (Ton pet/año)	1,081 089	418 813,881
$G_{pet\$}$ (\$/año)	129,731	50 257,666

Tabla 3.3 Resultados del sobreconsumo.

En la tabla se evidencia el sobreconsumo de energía de los 596 Split a lo largo de todo un año es de 1 495 763,862 kW.hr/ año, lo que representan 269 237,495 \$/año, lo que a su vez representa un gasto de 418 813,881 Ton pet/año que el país tiene que importar y 1278922,299 Kg de CO₂ eq/año que se deja de expulsar a la atmósfera.

3.4 Resultados de los ahorros alcanzados debido a las propuestas estudiadas.

Ahorro de energía anual por cambio de refrigerante	
A_{er} (kW.hr/año)	565 604
Ahorro de energía anual total	
A_{et} (kW.hr/año)	2 061 367,862

Tabla 3.4 Resultados de la propuesta del cambio de refrigerante y el ahorro de energía producto del sobreconsumo más el cambio de refrigerante.

3.5 Tiempo de recuperación de la inversión hecha por el hotel.

Tiempo de recuperación de la inversión		
Tri (años)	Tri (meses)	Tri (días)
0,097	1,164	35

Tabla 3.5 Tiempo de recuperación de la inversión

El hotel es capaz de recuperar el dinero invertido en 35 días.

CONCLUSIONES

1. Con este trabajo se determina el sobreconsumo de energía, así como el gasto de combustible y el dinero que representa para el país en importación.
2. El cambio de split por multi-split ejercen un beneficio económico neto para el hotel ya que estos pueden ser ubicados fuera de los áticos donde pueden trabajar a la temperatura a la que fueron diseñados y a su vez contribuir con el ahorro de energía eléctrica.
3. Con el cambio de refrigerante R 22 a R 410A se reduce aún más el consumo de energía eléctrica.
4. La inversión se recupera en 35 días aproximadamente, lo cual para instalaciones turísticas es altamente positivo.

RECOMENDACIONES

1. Se aconseja realizar la inversión primero con un solo multi-split, de forma tal que se pueda realizar la instalación y montaje de este con todos sus accesorios, para valorar los resultados de su aplicación y después analizar la posible inversión en el resto de los bungalow.
2. De acuerdo a la firma y a las dimensiones de los multi-split que se adquieran, estos pudieran caber o no en los áticos de los bungalow, por lo que se aconseja que se analicen bien las dimensiones de estos áticos antes de proceder a la compra, aunque de ser sus dimensiones mayores a las del ático siempre se pueden confeccionar casetas detrás de los bungaló para su instalación, para lo cual se debe confeccionar nuevamente el cálculo económico ya que dichas casetas no se tienen en cuenta en la inversión .
3. La propuesta realizada es amigable con el medio ambiente al proponerse el cambio hacia un refrigerante ecológico.
4. Es necesario que exista un asesoramiento técnico adecuado en el momento de la instalación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón Creus, J. C. G., Carlos; José Costa Ardiaca et al. (1976). Manual de aire acondicionado.
- Alonso, J. I. V. (2015). "Cálculo de sobreconsumos en sistemas de refrigeración o Climatización."
- Córdova, H. (2009). "Historia y Principios de la Refrigeración y Aire Acondicionado." Hi-Tech Refrigeracion SA.
- Edwin, V. S. H. M. P. T. O. (2005). "Estudio y aplicación de ciclos de refrigeración - Refrigerantes alternativos-Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente,." Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente Vol 3.
- Fernández Diez, P. (2013). "Refrigeración y Calefacción."
- Jaramillo, V. (2004). "Cambio climático: una visión desde México."
- MIRANDA, F. D. (2010). SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN. COMPLEJO ACADÉMICO EL SABINO PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA UNIDAD CURRICULAR: ELECTIVA III, UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
- Monroy, J. P. P. (2012). LOS REFRIGERANTES Y EL MEDIO AMBIENTE. Facultad de Náutica de Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya.
- Ortega, M. C. S. L. B. (2007). "Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra." **Volumen 8 Número 10.**
- Quadri, N. (2001) Sistemas de Aire Acondicionado.Calidad del aire interior. LIBRERIA Y EDITORIAL ALSINA
- Rivera Ariza, J. J. R. B., Hugo Andres (2009). Evaluacion Tecnica Y Financiera De Los Sistemas De Aire Acondicionado De Los Edificios Jorge Bautista Vesga Y Administracion I De La Universidad Industrial De Santander . Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Universidad Industrial de Santander
- Toro, J. F. C. (2005). Colección de Transparencias Comentadas

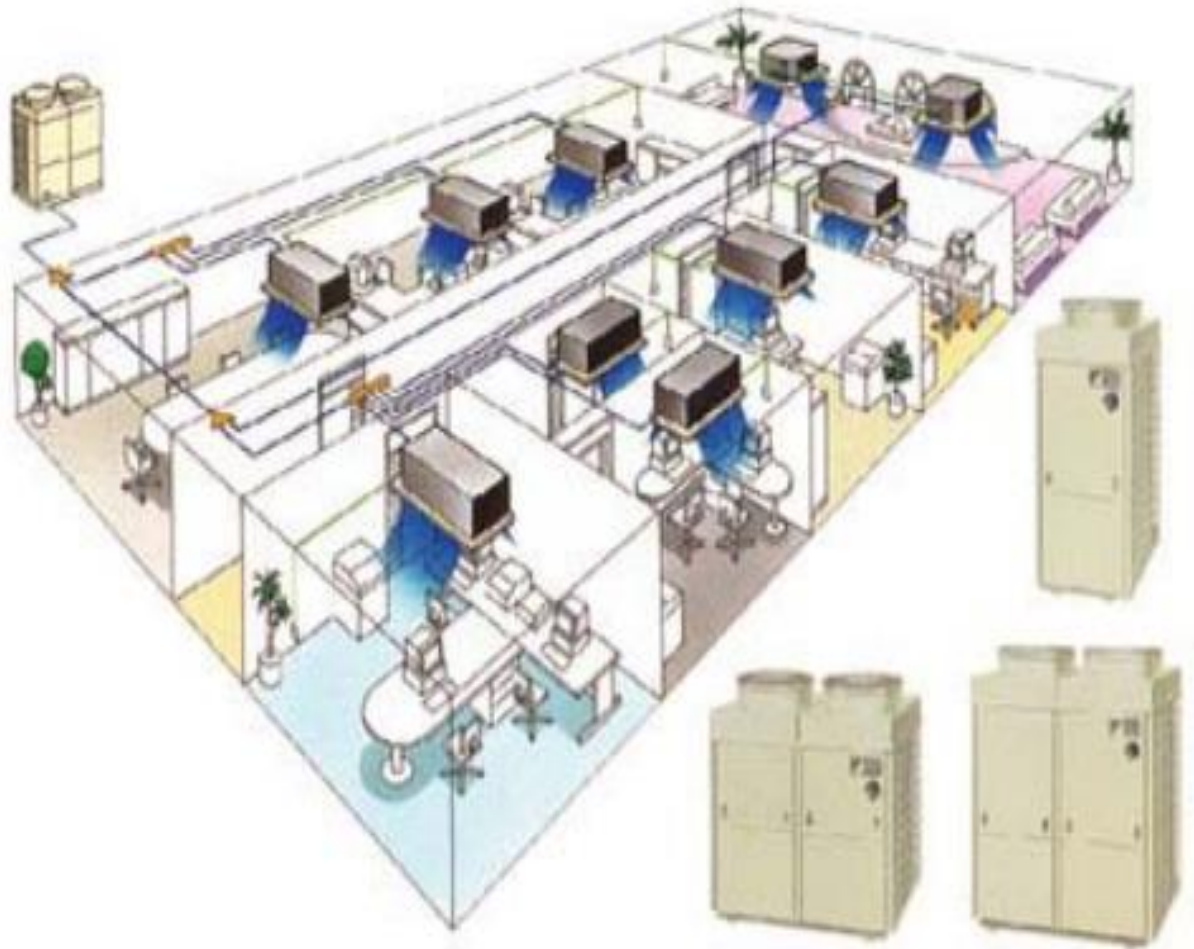
de Tecnología Frigorífica. Dpto. de Ingeniería Energética y mecánica de Fluidos,
Universidad de Sevilla.

Villamil Salcedo, H. M. P. T., Oscar Edwin (2005). "Estudio y aplicación de ciclos de refrigeración -Refrigerantes alternativos Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente." Redalyc.Crg.

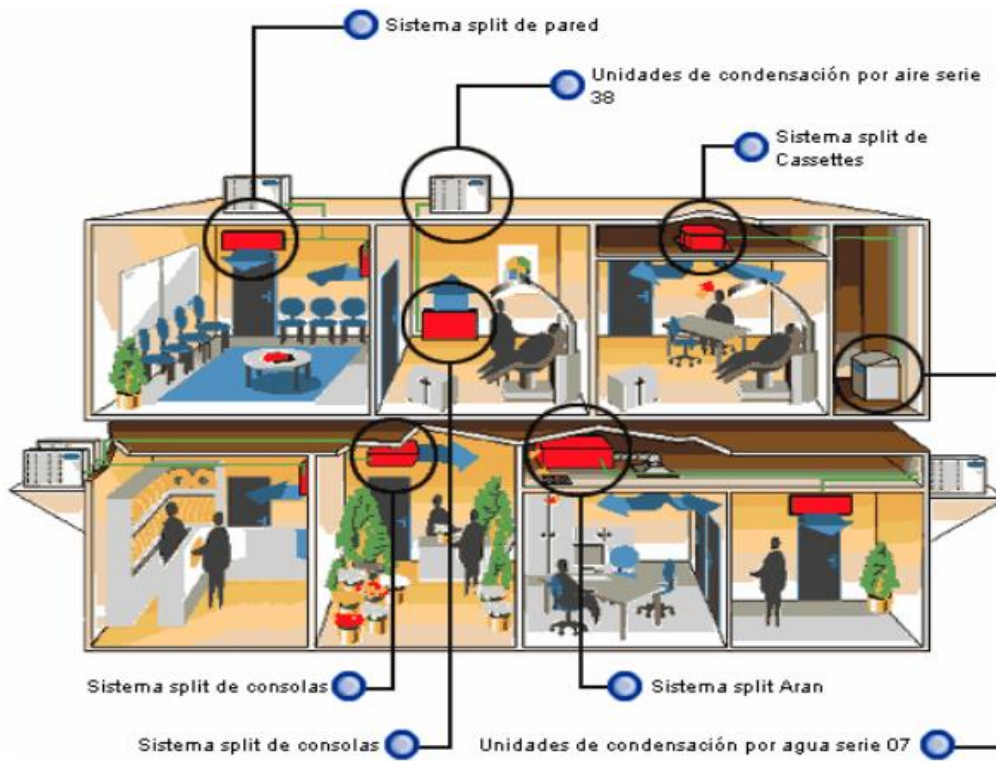
Welch, A. R. T. T. (2000). "Refrigeration and Air-Conditioning."

ANEXOS

Anexo 1. Sistema VRV de Daikin



Anexo2.-Ejemplos de sistemas individuales todo refrigerante.



Anexo 5 Efecto invernadero.



Fuente: UNEP -GRID-Arendal.