



Nota Técnica

Análisis comparativo de las características técnicas de refrigerantes y sus efectos sobre el medioambiente

Comparative analysis of the technical characteristics of refrigerants and its effects on the environment

Rosario Pérez-Barrios

Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Venezuela

DOI: <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.16502.73282>

Recibido: 13-05-2021

Aceptado: 20-08-2021

Resumen

Actualmente existen diferentes tipos de refrigerantes utilizados en los sistemas de enfriamiento. Para escoger el fluido ideal es necesario considerar las propiedades termodinámicas como presión del condensador y evaporador, la temperatura de ebullición, crítica y de congelación, volumen específico, entalpía, los cuales permiten una máxima capacidad de enfriamiento con una mínima demanda de potencia; adicionalmente observar que los efectos ambientales sean bajos y no causen daños a la capa de ozono como consecuencia de la acción destructora de los compuestos que contienen cloro procedentes de la descomposición de las moléculas de CFC y HCFC. La presente es una investigación de tipo comparativa-descriptiva que tiene como objetivo analizar las características técnicas de los refrigerantes y sus efectos sobre el medioambiente. Los datos se recolectaron a partir de una revisión de investigaciones, definiendo la situación actual y las tendencias futuras de los mismos; presentándolos en una tabla resumen comparativa destacando los cambios realizados a partir de la implementación de los acuerdos internacionales desde el Protocolo de Montreal hasta el de París, los cuales promueven la reducción de la emisión de estos gases a la atmosfera.

Palabras clave: refrigerante, capa de ozono, características técnicas, medioambiente.
Código UNESCO: 2391 – Química ambiental.

Abstract

Currently there are different types of refrigerants used in cooling systems. To choose the ideal fluid, it is necessary to consider the thermodynamic properties such as condenser and evaporator pressure, boiling, critical and freezing temperatures, specific volume, enthalpy, which allow a maximum cooling capacity with a minimum power demand; additionally, observe that the environmental effects are low and do not cause damage to the ozone layer as a consequence of the destructive action of the chlorine-containing compounds from the decomposition of the CFC and HCFC molecules. This is a comparative-descriptive research that aims to analyze the technical characteristics of refrigerants and their effects on the environment. The data were collected from a research review, defining the current situation and future trends of the same; Presenting them in a comparative summary table highlighting the changes made from the implementation of international agreements from the Montreal Protocol to the Paris Protocol, which promote the reduction of the emission of these gases into the atmosphere.

Keywords: refrigerant, ozone layer, technical characteristics, environment.
UNESCO Code: 2391 – Environmental chemistry.

1. Introducción

La refrigeración está presente en todos los sectores de la económica y la sociedad, desde el sector residencial donde los sistemas de refrigeración doméstica son comunes en la mayoría de los hogares para la climatización interior o la conservación de alimentos. En el sector comercial, la refrigeración asegura la conservación y congelación de los alimentos. En la transportación y distribución de alimentos, tanto terrestre, marítimo como el aéreo, la refrigeración garantiza la congelación y conservación durante la travesía [1].

La historia de los refrigerantes comienza con la necesidad de conservar los alimentos, usando sustancias que le proporcionaba la naturaleza, tales como el hielo. En 1626, Francis Bacon, trata por primera vez de preservar un pollo llenándolo con nieve, para demostrar que “conservaba la carne también como lo hacía la sal” [2]. Posteriormente, en el siglo XIX, el amoníaco y el dióxido de azufre comenzaron a usarse como gases refrigerantes. A pesar de tener una capacidad de enfriamiento por encima de los tres (3) kW, presentan una característica desfavorable: son en extremo tóxicos al ser humano [3]. En 1930 el inventor Thomas Midgely de la General Motors desarrolla e introduce al mercado el freón-12 (diclorodifluorometano) con excelente propiedad termodinámica, muy estable, inerte, no corrosivo y no tóxico, para ser utilizado como refrigerante doméstico, en equipos de aires acondicionados y para la climatización de los vehículos [4]. Estaban formados a partir del metano y el etano y contaban en su estructura átomos de halógenos, principalmente flúor y cloro, denominadas clorofluorocarbonadas (CFC).

En 1974 Molina y Rowland, investigadores de la Universidad de California, Irvine, USA, descubren la acción nociva de los átomos de cloro sobre el ozono estratosférico, causando la destrucción de esta capa que impide que los rayos ultravioleta UV pasen directos a la Tierra [4]. Estas sustancias que contienen átomos de cloro son clasificadas como Sustancias Agotadoras del Ozono (SAO) [5].

A partir del trabajo de Molina y Rowland se comienza la regulación global de los CFC con una gran campaña de investigación para la elaboración de refrigerantes que pudieran remplazarlos debido al deterioro de la capa de ozono. Surgiendo los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), en la que los átomos de hidrógeno sustituyen parcial o totalmente a los de cloro, teniendo un menor efecto al ambiente y, posteriormente, se desarrollan los hidrofurocarbonos (HFC), en los cuales se disminuyen aún más éstos [6]. Desde entonces se han realizado varios intentos para controlar su uso y fabricación, comprometiendo a los países a través de políticas gubernamentales desde el Protocolo de Montreal en el año 1989 [7], que establece un calendario de reducción para el consumo y la producción de refrigerantes, hasta el Programa de las Naciones Unidas para el medioambiente (PNUMA) en el 2015 [8], donde la reducción de uso de los HCFC se completó hasta el 2020. El abandono de los HCFC no se está consiguiendo tan rápido como se había previsto, debido al crecimiento tan inesperado que China ha experimentado desde principios del siglo [9].

La situación actual, de acuerdo con las últimas investigaciones científicas, demuestran que el flúor de los HFC tiene un efecto en el calentamiento atmosférico de cientos o miles de veces peor que el del CO₂ [8]. El objetivo para el grupo de los países más desarrollados es alcanzar una reducción de las emisiones al 85% para 2036, mientras que para el resto de los países esta reducción no se conseguirá hasta diez años más tarde [9]. En la Figura 1, se pueden observar los tipos de refrigerantes y los acuerdos internacionales para disminuir el daño medioambiental.

Actualmente no se ha logrado un refrigerante "ideal", que cumpla con las múltiples cualidades [10]. Se hace evidente que en la medida que la naturaleza del refrigerante sea tal que las presiones y temperaturas de condensación se aproximen a las del ambiente se necesita menos energía para comprimirlo y para enfriarlo, lo que indica que el consumo por unidad de refrigeración será menor [11]. A la vez, si coincide que la diferencia entre el calor latente respecto al ambiente es lo

suficientemente alto para realizar la transferencia de calor, entonces se requiere menos cantidad de refrigerante para ejecutar el trabajo y, por lo tanto, menos compresión [12].

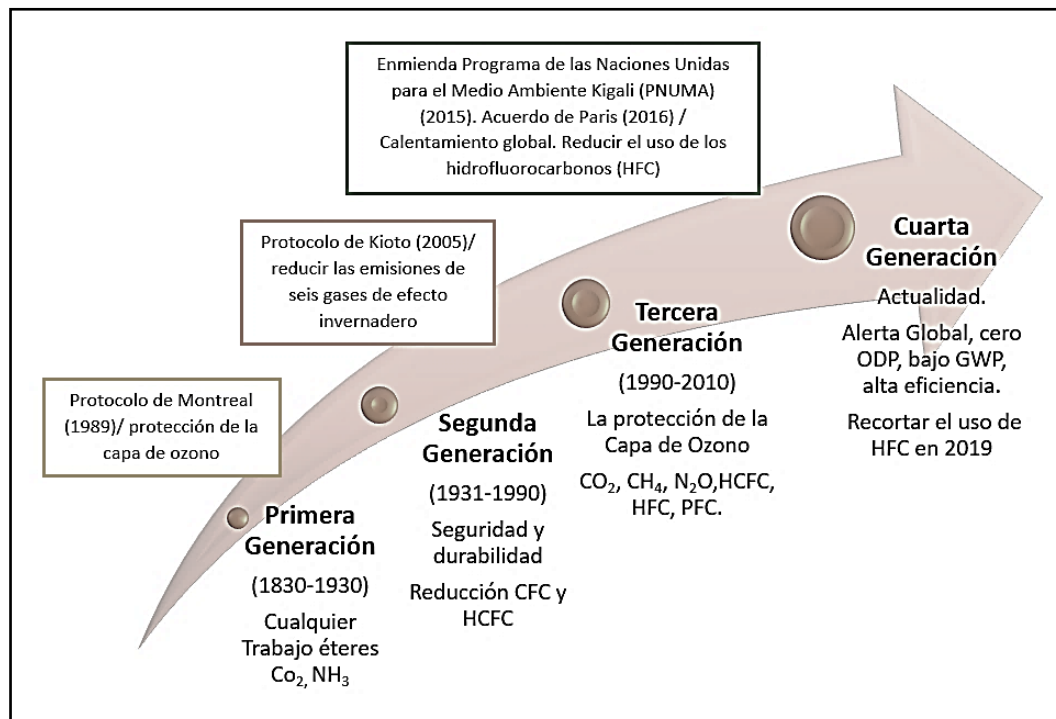


Figura 1: Tipos de refrigerantes y los diferentes acuerdos internacionales.

Fuente: Elaboración propia.

La presente investigación tiene como objetivo principal analizar las características técnicas de los refrigerantes y las mejoras que tienen sobre el medioambiente a través del estudio de aspectos relativos a la presión del evaporador y condensador, temperatura de ebullición, crítica y de congelación, volumen específico, entalpía (líquido, calor latente y vapor); además de los índices de potencial de agotamiento de Ozono (ODP, por sus siglas en inglés) y el de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) que tienen que ver con el deterioro de la capa de ozono.

Para esto se realiza una revisión documental para permita determinar cuáles son las características técnicas necesarias para cumplir con estas condiciones termodinámicas y medioambientales requeridas. Finalmente, se realiza una comparación donde se resaltan las mejoras a las cuales han sido sometidos.

2. Desarrollo

2.1 Metodología

La presente investigación es de tipo comparativa [13], en donde se busca precisar las diferencias en el comportamiento de los refrigerantes a partir de las características técnicas más importantes mostradas en los resultados de investigaciones anteriores y que permitan observar si los que se usan actualmente han mejorado de tal manera de causar el menor daño al medioambiente. Para ello, se pondrá atención al comportamiento de los refrigerantes en ciclo saturado simple y a la variación de la temperatura de evaporación. Se tomarán las siguientes consideraciones:

1. La aplicación del refrigerante a un ciclo saturado simple para una temperatura de condensación de +30 °C.
2. La variación en la temperatura de evaporización desde - 40°C hasta - 5°C.
3. Las propiedades termodinámicas a evaluar son: la presión, temperatura (de ebullición, crítica y de congelación), el volumen específico (en líquido y vapor) y la entalpía (calor líquido, latente y vapor).
4. Las propiedades físicas y químicas de los refrigerantes y
5. Los efectos medioambientales: Ozone Depletion Potencial (ODP) y el Global Warning Potencial (GWP).

Los refrigerantes estudiados son el R-11 y R-12 que pertenecen a los CFC de la primera generación de refrigerantes; el R-22 y R-123 que son de la segunda generación, los HCFC; el R-134A y R-404A de la tercera generación HFC y los de la nueva generación HFO, el R-507, R-600A y R-717 [14].

Luego de realizar la investigación, se recolectan los datos de los parámetros estudiados para analizarlos, integrarlos y presentar una tabla resumen que compare los diferentes tipos de refrigerantes elegidos.

2.2 Sistema de refrigeración

Un sistema de refrigeración se define como un ciclo cerrado, en el cual el proceso de absorción y liberación de calor se realiza por medio de un refrigerante que tiene la capacidad de transportar e intercambiar calor con el medio ambiente, cediéndolo a alta temperatura y absorbiéndolo a baja temperaturas [15].

Según Yáñez [16], el ciclo básico de refrigeración opera de la siguiente forma: el refrigerante líquido a alta presión es alimentado al tanque recibidor a través de la tubería de líquido, pasando por la válvula de expansión, que controla la alimentación del refrigerante líquido al evaporador, y que por medio de un pequeño orificio, reduce la presión y la temperatura del refrigerante. La reducción de presión en el refrigerante líquido provoca que éste se vaporice, hasta que alcanza la temperatura de saturación correspondiente a la de su presión [17]. Conforme el refrigerante baja la temperatura pasa a través del evaporador, el calor del elemento a enfriar fluye a través de las tuberías, haciendo que la acción de ebullición continúe hasta que se encuentre totalmente vaporizado.

El vapor caliente, al alcanzar una alta presión, es bombeado fuera del compresor a través de la válvula de descarga hacia el condensador. A medida que pasa a través de éste, el gas a alta presión es enfriado por algún medio externo (ventilador o agua) [16]. Mientras el vapor del refrigerante alcanza la temperatura de saturación, correspondiente a la alta presión del condensador, el vapor se condensa y fluye como líquido, repitiéndose nuevamente el ciclo [17]. En la Figura 2 se muestra el ciclo básico de la refrigeración.

2.3 Tipos de refrigerantes

Los refrigerantes CFC contienen cloro, flúor y carbono. Debido a su contenido de cloro, los refrigerantes CFC dañan la capa de ozono (ODP), y aumentan el calentamiento global (GWP), por lo cual están siendo reemplazados. Los refrigerantes HCFC consisten de hidrógeno, cloro, flúor y carbón, tienen sus propiedades químicas similar a los CFC y menor daño a la capa de ozono. Los refrigerantes HFC consisten de hidrógeno, flúor y carbono. Siendo estos los que reemplazan a los CFC y HCFC ya que no contienen cloro, y por lo tanto no dañan la capa de ozono. En trabajos a temperaturas extra bajas o en instalaciones con grandes compresores centrífugos, se usan refrigerantes de la nueva generación HFO, que no dañan la capa de ozono [18]. En la Tabla 1 se observa los tipos de refrigerante y sus usos.

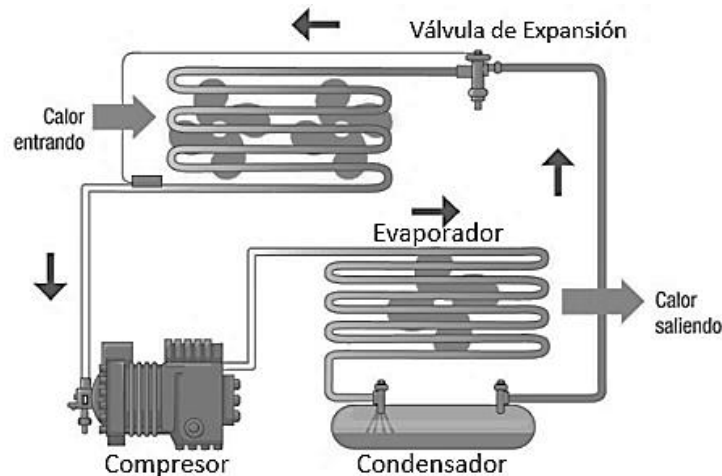


Figura 2: Ciclo básico de refrigeración.

Fuente: Duque [14].

Tabla 1. Uso de los gases refrigerantes.

Tipo de refrigerante	Uso
R-11(CFC); R-12(CFC); R-123 (HCFC) R-134 a(HFC); R-22(HCFC)	Uso doméstico y aire acondicionado de autos, farmacéutica.
R-404 a(HFC)	Transporte de alimentos, enfriamiento electrónico
R-507; R-600 a (HFO)	Exhibidores refrigerados, salas de cirugía, sala de cuidados intensivos.
R-717(HFO)	Toda la refrigeración.

Fuente: Jadhav y Mali [18].

2.4 Características técnicas

Para que un refrigerante sea apropiado y se le pueda usar como un agente de enfriamiento, debe poseer ciertas propiedades que lo hagan seguro durante su uso [19], las cuales se describen a continuación:

Propiedades termodinámicas

Para que un líquido pueda ser utilizado como refrigerante debe reunir ciertas propiedades termodinámicas, que tienen relación con el movimiento del calor entre el evaporador y condensador, además de otras físicas y químicas que son necesarias para que pueda repetir el ciclo de líquido a vapor y viceversa [20].

a. Presión

La variación de presión dentro de un sistema de refrigeración permite que el fluido cambie de estado líquido a gaseoso en el evaporador y de gaseoso a líquido en el condensador [21]. Estos cambios garantizan la retirada de calor del interior al exterior del sistema, generando el enfriamiento.

El condensador y el evaporador deben operar a presiones positivas, es decir, superior a la atmosférica (101,3 kPa) [21]. Si la presión en el evaporador es negativa, hay riesgo que entre aire al sistema debido a una fuga, con la consiguiente disminución del rendimiento y posibles averías en los componentes. Por esto, el refrigerante debe tener una presión de evaporación lo más baja posible

(varía de acuerdo al tipo de fluido), pero ligeramente superior a la atmosférica [21]. Mientras que la presión del condensador debe ser lo suficientemente alta (mayor a la presión atmosférica), para que el vapor se condense y fluya como líquido para repetir el ciclo nuevamente.

b. Temperatura

Para hacer la selección de un refrigerante se deben tener en cuenta tres (3) temperaturas: la de ebullición, la crítica y la de congelación. La temperatura de ebullición de un refrigerante siempre es referida a la presión atmosférica normal de 101,3 kPa [22]. El punto de ebullición de un refrigerante es el valor en el que el líquido se evapora cuando se añade calor, debe estar por debajo de los 40°C, para que operando a presiones positivas se pueda tener una temperatura menor en el evaporador [22].

La temperatura crítica es el valor límite en la cual un refrigerante pasa de estado gaseoso a líquido cuando es comprimido. Por encima de esta temperatura no es posible condensarlo, aunque aumente su presión por encima de la atmosférica (101,3 kPa) [22]. La temperatura de congelación de un refrigerante debe ser más baja que la del evaporador. No se puede utilizar un refrigerante que se congele a la temperatura de trabajo del evaporador (25°C) [22].

c. Volumen específico

Es el volumen que ocupa un (1) kg de masa de determinada sustancia, a una temperatura de 20°C y a la presión atmosférica de 101.3 kPa [23].

En un sistema de refrigeración, al agregar calor, aumenta su temperatura y su volumen específico, pero su presión permanece constante, ya que, en el evaporador, en la línea de succión y en el condensador, la temperatura de saturación es lo que controla la presión del vapor sobrecalentado. Inversamente, si disminuye la temperatura del refrigerante disminuye su volumen específico [23].

d. Entalpía

La entalpía es la propiedad que representa la cantidad total de energía térmica o contenido de calor en un fluido, medidas en kcal/kg. Para la mayoría de los refrigerantes se considera que su entalpía es cero (0) a una temperatura de saturación de -40°C. Entonces, el calor agregado o sustraído de un refrigerante, desde ese punto, se considera que es su entalpía total. En los trabajos de transferencia de calor, se manejan los cambios de entalpía que ocurre durante un proceso [24].

Propiedades físicas y químicas de los refrigerantes

- No debe ser tóxico, no venenoso, no explosivo, ni inflamable a fin de tolerar años de repetidos cambios de estado [25].
- No debe tener efecto sobre otros materiales.
- Fácil de detectar cuando se fuga, ya que las pérdidas producen su disminución y la contaminación del sistema.
- Debe ser miscible con el aceite para no alterar la acción de la lubricación.
- No debe reaccionar con la humedad.

Estas propiedades no serán estudiadas en esta investigación. Además de estas características, existen otras propiedades que deben considerarse a la hora de elegir un fluido refrigerante, como es el caso de los índices medioambientales que determinan la contribución al efecto invernadero y al deterioro a la capa de ozono [26].

Efectos ambientales de los refrigerantes

El deterioro de la Capa de Ozono es uno de los problemas ambientales con que se enfrenta nuestro planeta. La acción destructora por los compuestos que contienen cloro que procede de la descomposición de las moléculas de CFC y, en menor medida, de los HCFC es aceptada mundialmente por los expertos [27].

Gracias a las medidas tomadas desde el Protocolo de Montreal en 1987, se ha definido un índice que permite comparar el poder destructivo de los diferentes refrigerantes, que es el Ozone Depletion Potencial (ODP) [28]. Este mide la capacidad de una sustancia para destruir el ozono estratosférico sobre la base de su vida atmosférica, su estabilidad, su reactividad y el contenido de elementos, como el cloro y el bromo. Adicionalmente, se ha determinado un índice en relación a la contribución que presentan los compuestos al efecto invernadero, se conoce como Global Warning Potencial (GWP), que define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce una liberación instantánea hoy de un (1) kg de un GEI. En comparación con el causado por el CO₂ está basado en un tiempo horizonte de 100 años, por ejemplo, la emisión de un (1) kg de un R-134A es equivalente a la emisión de 1.300 kg y su referencia es el valor correspondiente al CO₂ equivalente [29].

2.5 Resultados

De acuerdo a las características técnicas de los refrigerantes, a continuación, se muestran los datos encontrados de acuerdo a cada parámetro.

a. Presión

En la Tabla 2 se muestran las presiones de operación para los refrigerantes seleccionados a las condiciones de temperatura de saturación. Un ejemplo claro de alta presión de condensación es el refrigerante R-507, para el cual se requiere un equipo compresor con una potencia entre 2,23 y 37,28 kW [17], para soportar presiones por encima de 2119 kPa. El refrigerante R-123, trabaja en vacío en el evaporador a estas temperaturas.

b. Temperatura

Se observa en la Tabla 3 las tres temperaturas de acuerdo al tipo de refrigerante estudiado. El refrigerante R-717 tiene la temperatura crítica más alta (132.9°C) y el R-507 la más baja (71°C).

c. Volumen específico

En la Tabla 4 se muestran los valores del volumen específico para los refrigerantes escogidos, donde el R-123 es el fluido que tiene el valor más alto en fase de vapor, lo que requiere de un compresor con gran desplazamiento volumétrico (0,1 m³ /kg), debido a la alta cantidad de vapor que produce al evaporarse [20].

d. Entalpía

En la Tabla 5 se observan los valores de entalpía a una temperatura de -15°C en la fase líquida (hf), el cual se encuentra a temperatura de saturación; el calor latente (hfg) cambió de líquido a vapor cuando pasa por el evaporador y en fase de vapor (hg), es la suma de los anteriores.

Efectos ambientales de los refrigerantes

En la Tabla 6 se exponen los valores relativos a los refrigerantes seleccionados, en donde se puede resaltar que el refrigerante R-717 es totalmente inocuo para cualquiera de los efectos sobre el medioambiente.

Tabla 2. Presiones de operación.

Refrigerante	Evaporador -15°C (kPa)	Condensador 30°C (kPa)
R-11	170	650
R-12	183	754
R-22	296	1.192
R-123	16	110
R-134a	164	767
R-404a	348	1.319
R-507	174	2.119
R-600a	364	7.72
R-717	236	1.167

Fuente: Yáñez [16].

Tabla 3. Temperaturas a presión atmosférica.

Refrigerante	Temperaturas °C		
	Ebullición	Crítica	Congelación
R-11	23.8	198	-
R-12	-29.8	112	-158
R-22	-40.7	96	-160
R-123	27.9	-	-107
R-134a	-26.5	101.1	-103
R-404a	-45.4	82.2	-
R-507	-46.7	71	-
R-600a	-11.7	135	-
R-717	-33.3	132.9	-78

Fuente: Carreño y Jadán [22].

Tabla 4. Presiones de operación.

Refrigerante	Volumen específico (m ³)	
	Líquido vf	Vapor vg
R-11	0.00248	1.747
R-12	6.925e-5	0.911
R-22	7.496	0.776
R-123	7.491	0.856
R-134a	7.376	0.120
R-404a	7.254	0.05
R-507	9.704	0.051
R-600a	1.96	0.867
R-717	0.001498	0.508

Fuente: Yáñez [16].

Tabla 5. Entalpia de refrigerantes seleccionados.

Refrigerante	Entalpia a -15°C (kcal/kg)		
	Líquido	Latente	Vapor
R-11	7.86	43.3	53.33
R-12	5.33	37.89	43.22
R-22	6.53	51.78	58.31
R-123	6.66	43.87	50.53
R-134a	7.55	49.06	56.61
R-404a	6.06	37.40	43.46
R-507	1.65	178.95	355.21
R-600a	5.01	224.6	376
R-717	26.83	313.89	340.72

Fuente: Yáñez [16].

2.6 Discusión de resultados

Los resultados encontrados destacan que a medida que se han cumplido con los acuerdos internacionales que comprometen principalmente a los países desarrollados a disminuir la emisión de estos gases a la atmósfera, se puede observar que los refrigerantes han mejorado en cuanto a sus características técnicas y daño medioambiental [26].

A continuación, en la Tabla 6, se muestra un cuadro resumen de los refrigerantes estudiados y se hace una comparación en base a sus características técnicas.

Tabla 6. Cuadro resumen de refrigerantes.

Refrigerante	Presión Evaporador a -15° C (KPa)	Presión Condensador a 30° C (KPa)	Temperatura de ebullición °C	Temperatura crítica °C	Temperatura de congelación °C	Volumen específico líquido m ³	Volumen específico vapor m ³	Entalpia a -15°C			Potencial de agotamiento de Ozono (ODP)	Potencial de calentamiento Global a 100 años (GWP)
								Líquido hf	Latente hfg	Vapor hg		
R-11	170	650	23.8	198	-	0,00248	1,747	7.86	43.3	53.33	1	4.750
R-12	183	754	-29	112	-158	6,925e-5	0,911	5.33	37.89	43.22	0.820	10.600
R-22	296	1.192	-40.7	96	-160	7,496	0,776	6.53	51.78	58.31	0.034	1.700
R-123	16	110	27.9	-	-107	7,491	0,8563	6.66	43.87	50.53	0.026	620
R-134a	164	767	-26.5	101.1	-103	7,376	0,120	7.55	49.06	56.61	0	1.300
R-404a	348	1.319	-45.4	82.2	-	7,254	0,50	6.06	37.40	43.46	0	3.800
R-507	174	2.119	-46.7	71	-	9,704	0,51	1.65	178.95	355.21	0	3.300
R-600a	364	7.72	-11.7	135	-	1.96	0.867	5.01	224.6	376	0	3
R-717	236	1.167	-33.3	132.9	-78	0,00149	0,5088	26.83	313.89	340.72	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el R-11 y R-12, refrigerantes del tipo CFC de la primera generación y eran utilizados en algunos sistemas domésticos, cumplen con las características básicas de un fluido. Tienen una presión en el condensador y volumen específico en vapor relativamente baja, pero se observa que su valor de ODP y GWP son altos, lo que indica que causan daño al medioambiente debido a la presencia de cloro en su composición química.

Con respecto al R-22 del tipo HCFC puro, se observa que tiene una presión en el condensador más alta que el R-11, lo que indica que el compresor debe ser de mayor capacidad (entre 3 Hp y 50 Hp) [17], además de una disminución considerable en cuanto a los índices medioambientales.

Para el caso del R-134a que pertenece a los HFC puros, las presiones del evaporador y condensador se reducen con respecto a las anteriores, aumenta el volumen específico en vapor, lo cual indica que hay un mayor desplazamiento volumétrico en el compresor, también ofrece un valor de ODP totalmente reducido y el de GWP equivalente a la emisión de 1.300 kg de CO₂ en un tiempo horizonte de 100 años.

Finalmente, y como refrigerante singular, está el R-717 (NH₃), de la cuarta generación no halogenado inorgánico, que es totalmente inocuo para cualquiera de los dos efectos sobre el medioambiente considerados (ODP y GWP), necesita de un compresor de una capacidad muy grande (mayor de 35 Hp) [17], ya que la presión en el condensador y volumen específico en vapor son altas con respecto a los anteriormente mencionados.

3. Conclusiones

En la selección de un refrigerante ideal es esencial considerar los parámetros de diseño, especialmente los que afecten al compresor que es el que va a realizar la circulación constante, viéndose mayormente afectada la eficiencia del sistema, lo que se reflejaría en mayor costo.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que el uso de refrigerantes que provoquen alteraciones graves en el medioambiente, como el calentamiento global, deterioro de la capa de ozono y efecto invernadero, tienen que ser eliminados de forma definitiva en todos los países del mundo, vigilándose constantemente a través de los tratados internacionales.

Esta vigilancia y mejora constante de las características técnicas, permite que sean usados como herramienta de apoyo a la gestión de investigación, desarrollo e innovación de nuevos productos

refrigerantes que cumplan su función de permitir una máxima capacidad de enfriamiento con una mínima demanda de potencia, sin causar daño al medioambiente.

Referencias

- [1] Caloryfrio, 2020. Informe de mercado de la climatización 2019. <https://www.caloryfrio.com/noticias/informacion-mercado/informe-mercado-climatizacion-aire-acondicionado.html>
- [2] Y. International, Industrial refrigeration with ammonia for the food, Guadalajara, Jalisco. México: Seafood, Today, Abril- Mayo 2005, pp. 4-6.
- [3] T. Giunta y J. Midgley. And the invention of Chlorofluorocarbon refrigerants it ain't necessarily so, Bull. Hist. Chem., 31(2):66-74, 2006.
- [4] S. Rodero. The experimental method in the seventeenth century. *Artefactos*, 6(1):163-180, 2013.
- [5] F. Rowland y M. Molina. Stratospheric Sink for Chlorofluoromethanes: Chlorine Atom-Catalysed Destruction Of Ozone. Reprinted from *Nature*, 249(5460):810-812, 1974.
- [6] E.D. Maury. Cabrera y E.C. Brossard González. Impacto ambiental de sustancias agotadoras de Ozono. *Tecnología Química*, 25(2): 21-25, 2005. <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543747003.pdf>
- [7] Secretaría del Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono y el Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que agotan la Capa de Ozono. Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono. ONU, Nairibi, Kenya, 2000.
- [8] ONU. Informe sobre la brecha en las emisiones del 2020. Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente. Número de trabajo: DEW/2310/NA, 2020. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34438/EGR20ESS.pdf>
- [9] P. Rodríguez. Fluidos refrigerantes: Análisis de la Normativa Internacional. Trabajo de fin de máster universitario en Ingeniería Industrial, Universidad de Sevilla, España. 2020. <https://idus.us.es/>
- [10] J.M. Calm. The next generation of refrigerant, Refrigeration creates the future (proceedings of the 22nd International Congress of Refrigeration, Beijing, People's Republic of China. *ACR-Latinoamérica*, 12 (1): 18-25, 2009.
- [11] V.M. Pelcastre. Uso de gases refrigerantes e impacto ambiental. Repositorio Institucional de la Universidad Veracruzana. Trabajo grado para obtener el título de Ingeniero mecánico eléctrico. 2015.
- [12] M. Dubey, S. Rajput, P. Nag, P y R. Misra, R. Energy Analysis of a coupled Power-Refrigeration Cycle. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A Journal of Power and Energy* 1(A6):1-11, 2010. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1243/09576509JPE894>
- [13] J. Hurtado. Metodología de la Investigación. Guía para la comprensión holística de la ciencia. pp. 653-681, Caracas: Quirón Ediciones S.A.
- [14] L. Duque. Impacto ambiental de los refrigerantes ecológicos. *El Cuaderno-Escuela de Ciencias Estratégicas*, 2(4):213-222, Julio-Diciembre 2008
- [15] Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC) y Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE). Informe especial sobre la protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial: cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarbonos. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Montreal 2005. https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/sroc/sroc_spmts_sp.pdf
- [16] G. Yáñez. Ciclo Básico de la refrigeración. *Revista Cero grados Celsius*. 2014. <https://0grados.com.mx/ciclo-basico-de-la-refrigeracion/>
- [17] J. Plazas Monroy. Los refrigerantes y el medio ambiente. Proyecto Final de Carrera Facultad de Náutica de Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya. 2012. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16336/Memoria_PFC_Plazas_Monroy_Juan_Pablo.pdf

- [18] S. Jadhav y K. Mali. Evaluation of a Refrigerant R410a as substitute for R22 in Window Air-Conditioner. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 23 (32). 2017
- [19] E. García Ortiz, V. Búrdalo, J. Cepeda, M. Fuentes, M. de Barrios y J. Ferrero, J. Análisis comparativo de las características básicas de los fluido refrigerantes más usados. Universidad de León, Escuela de Ingenierías Industrial e Informática 2010.
- [20] Embraco. Presiones de trabajo de los gases refrigerantes en los sistemas comerciales Página oficial Club de la Refrigeración. 2016. <https://refrigerationclub.com/es-es/presiones-de-trabajo-de-los-gases-refrigerantes-en-los-sistemas-comerciales/>
- [21] C. Kittel. Introduction to solid state physics (8va Edición). John Wiley & Son, Inc. 2005
- [22] P. Carreño y C. Jadán. Estudio del comportamiento termodinámico del refrigerante R-134a modificando su composición química. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. 2013. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4803/1/UPS-CT002646.pdf>
- [23] J. Navarro, R. Cabello y E. Torrealba. Fluidos Refrigerantes tablas y diagramas. AMV Ediciones, 2003 pp.95-115.
- [24] Grupo C de Comunicación. Climatización y Confort. Carrier: la gama 30XB/P-ZE de AquaForce ya está disponible con HFO R-1234ze. 2020. <https://climatizacion-y-confort.cdecomunicacion.es/productos/38533/carrier-gama-30xb-p-ze-aquaforce-ya-esta-disponible-hfo-r-1234ze>
- [25] U. Mejías y Y. Cañizalez. Aproximación a los problemas actuales del medioambiente. *Revista Agora*, 14 (28):151-167, 2011
- [26] J. Belman y V. Pérez, V. As refrigerant: from the past to future. Dirección de Apoyo a la Investigación y al Posgrado, Universidad de Guanajuato, México. 23(2):23-30, 2013.
- [27] M. Sánchez Vega. La capa de ozono. *Biocenosis*. 21(1-2):65-68. 2008. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1276>
- [28] J. Uribe Echevarria, J. Martinez de Ilarduya y L. Lombide, L. Comparativa de nuevos gases ecológicos. 2017. http://gesmansoluciones.es/wp-content/uploads/2017/11/Comparativa_gases_ecologicos.pdf.
- [29] D. Sánchez, I. Arauzo, J. Catalan, y R. Cabello. Evaluación Energética de una Instalación Frigorífica empleando Refrigerantes de bajo GWP. VIII Congreso Ibérico | VI Congreso Iberoamericano de las Ciencias y Técnicas del Frío. Coimbra-Portugal, 2016.

Sobre la autora

Rosario Pérez-Barrios

T.S.U. Mantenimiento de Equipos Eléctricos. Ingeniero Electricista. Supervisor de Laboratorio de Física, Departamento de Estudios Generales y Básicos de la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO), Venezuela, Vicerrectorado Barquisimeto. Estado Lara. Venezuela. Cursante del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería en la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO), Venezuela.

Correos: roperez@unexpo.edu.ve

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7911-3478>

Forma de citar:

R. Pérez-Barrios. Análisis comparativo de las características técnicas de refrigerantes y sus efectos sobre el medioambiente. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*. 15(1): 3-14, 2021. <https://revistas.uclave.org/index.php/pcyt>