

Eco-diseño y los sistemas de enfriamiento

Eco-design and cooling system

María Dolores Galindo Torres¹

Resumen

La industrialización junto con el crecimiento de la población mundial ha llevado a desarrollos tecnológicos para dar respuesta rápida a las necesidades de la sociedad. Al querer sistemas de refrigeración más seguros, con mejor eficiencia frigorífica, se compromete la estabilidad del medio ambiente al utilizar sustancias químicas como los CFC que agotan la capa de ozono y ponen en peligro la vida en la tierra (Llombai, 2015). Luego de firmar el protocolo de Montreal y las diferentes enmiendas los países miembros están comprometidos vigilar y restringir el uso de sustancias que comprometan el medio ambiente (Sánchez Segura, 2010), los ingenieros deben seguir unas guías para diseñar, instalar y mantener los sistemas de refrigeración y aire acondicionado que no dañen el medio ambiente y hacer sostenible el desarrollo del país.

Palabras clave: *Eco-diseño, refrigerantes, desarrollo sostenible, refrigeración, Aire acondicionado. Coeficiente de rendimiento COP.*

Abstrat

The industrialization along with the growth of the world population has led to technological developments in a quick respond to the social needs. By wanting safer refrigeration systems with better cooling efficiency, the stability of the environment is committed by using chemicals like CFC which deplete the ozone layer and become life threatening on earth (Llombai, 2015). After signing the protocol of Montreal and the different amendments, member countries are committed to monitor and restrict the use of substances that compromise the environment (Sánchez Segura, 2010). That's why engineers must follow a series of guidelines to design, install and maintain refrigeration systems and air conditioning in good conditions in order to not to harm the environment and make the development of the country sustainable.

Key Word: *Eco-design, refrigerants, sustainable development, refrigeration, air conditioning, coefficient of performance*

¹ Magister en Docencia Universidad de la Salle 2011, Ingeniera Mecánica, Universidad Nacional de Colombia 1993 y Licenciada con Especialidad en Física Universidad Distrital Francisco José de Caldas 1989. Profesora tiempo completo planta Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central, 2013-2017, Directora grupo de investigación GEA desde jul 2014, Asesora comité técnico 125 ICONTEC, Refrigeración, dgalindo@itc.edu.co.

1. Introducción

Los diseños en ingeniería se deben valorar por su componente de seguridad ambiental, teniendo en cuenta la epistemología de la ingeniería, las normas técnicas, las leyes y los reglamentos sobre la tecnología que están diseñando o seleccionando, se deben formar con los principios del ECO- DISEÑO.

En este artículo se muestra los refrigerantes, sus propiedades térmicas, la clasificación de seguridad, los factores ambientales con los valores para hacer una selección correcta del tipo de refrigerante según el sector de aplicación en el campo de los sistemas de enfriamiento. En algunos casos que no hay suficiente desarrollo tecnológico para usar refrigerantes amigables con el medio ambiente, el ingeniero deberá tomar la decisión de trabajar con sistemas alternativos con una inversión inicial más alta, pero que al final puede amortiguar los costos de la inversión con el plan de beneficios que deberá colocar el gobierno en impuestos, aranceles, de tal manera, que se cumplan con las leyes nacionales en protección del medio ambiente además de lograr los compromisos con el protocolo de Montreal, medidas para controlar la destrucción de la capa de ozono y el calentamiento global, (Ministerio del Medio Ambiente y desarrollo sostenible y Ministerio de comercio Industria y Turismo, 2012)

2. Los problemas ambientales generados por el uso de refrigerantes sintéticos

Desde el año 1972 cuando Frank Sherwood, Mario Molina y Paul Crutzen, advirtieron que las sustancias clorofluorocarbonadas CFC debilitaban la capa de ozono, posterior verificación en el año 1995 con el premio nobel en Física a los trabajos antes mencionados (Ibeth & Tirado, 2007), 200 países del mundo firmaron los acuerdos de Montreal para terminar el uso de las sustancias que agotan la capa de ozono como las CFC. La industria de refrigeración y aire acondicionado es de las más afectada por estos descubrimientos debido a que el refrige-

rante R12 es un CFC, y las propiedades termodinámicas de esta sustancia en particular, hace que el coeficiente de rendimiento de los sistemas de refrigeración y aire acondicionada sea alto COP, dando mayor capacidad de enfriamiento por cantidad de energía entregada a los sistemas de enfriamiento, comparada con otros refrigerantes. .

El Eco-Diseño aplicado a los sistemas de refrigeración comprende diferentes aspectos como la selección de refrigerantes que no destruyan la capa de ozono con un potencial agotamiento de la capa de ozono (siglas en inglés) DOP = 0. Se resolvió el problema de los CFC sustituyéndolos con los refrigerantes HCFC, pero estos últimos tienen un potencial calentamiento global alto (GWP). En el protocolo de Kioto los países industrializados se comprometen a estabilizar las emisiones de gases con efecto invernadero para disminuirla hasta un 5% de las emisiones de 1990 entre los años de 2008 a 2012. De los seis gases de efecto invernadero se encuentran los HCFC, en este grupo está el R22 utilizado en la refrigeración comercial y el aire acondicionado,(PNUMA, 2015). Cuando se van adquirir nuevos equipos se debe tener en cuenta los dos aspectos anteriores ya que al eliminar la producción de esta sustancia también se elimina la producción de equipos y repuestos que trabajen con este tipo sustancias; además, aumentarán los impuestos a las empresas que tengan dentro de sus sistemas de enfriamiento refrigerantes con un alto ODP y GWP , también aumentará el costo de este tipo de refrigerantes, y los aranceles de importación, como medidas para desestimular el uso de estas sustancias, (MADS, 2016).

3. Alternativas de selección de refrigerantes amigables con el medio ambiente

Según el método de obtención de los refrigerantes, se dividen en dos grandes ramas, los que se fabrican y los que se encuentran en la naturaleza, y todos están agrupados según las normas internacionales como la ISO 817-2014 en inflamables y tóxicos según la Tabla 1.

Tabla 1: Clasificación de las características de seguridad de los refrigerantes

	BAJA TOXICIDAD	ALTA TOXICIDAD	 RIESGO CRECIENTE: INFLAMABILIDAD
SIN PROPAGACIÓN DE FLAMA (CONSIDERADOS NO INFLAMABLES)	A1	B1	
BAJA FLAMABILIDAD	A2L	B2L	
INFLAMADOR	A2	B2	
ALTA FLAMABILIDAD	A3	B3	
RIESGO CRECIENTE: TOXICIDAD 			

La letra A significa no tóxico en bajas concentraciones y B tóxico y es su concentración debe estar como máximo en 500 partes por millón. El número 1 significa que no es inflamable, 3 altamente inflamable.

Fuente (ISO-817- 2014)

Los refrigerantes naturales con ODP=0 Y GWP<4, son utilizados en Colombia en los sectores de refrigeración industrial: el amoníaco R717 sustituyó el Refrigerante R12 en la década 1990's cuando Colombia firmó el protocolo de Montreal, las medidas de seguridad por toxicidad y inflamabilidad son altas, el personal que opera y da servicio es formado especialmente con una calificación alta. En el sector de la refrigeración doméstica la producción de neveras en Colombia se hace con R600a, es uno de los proyectos del Ministerio del Medio Ambiente y Seguridad Social junto con el Ministerio de Industria Comercio para la eliminación del uso de las sustancias con un alto GWP, ya que las metas de eliminación del uso de R12 y las sustancias con un alto ODP se considera cumplida a un 90% para el año 2014. En la Tabla 2 se

muestran los valores de GWP y ODP de los refrigerantes más utilizados en Colombia en sistemas de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor.

En los sectores de aire acondicionado doméstico, comercial, de edificios, los refrigerantes usados son el R134a, el R22, R407a, R410a, R507a, se deben encontrar sustitutos, o alternativas de sistemas de refrigeración en cascada, con refrigerante secundario, o sistemas de refrigeración por absorción, en los que se utilicen refrigerantes naturales o mezclas amigables con el medio ambiente. Ese es el compromiso de los ingenieros, tecnólogos y técnicos para no comprometer el medio ambiente en el caso de las sustancias con efecto invernadero y que debiliten la capa de ozono.

24

Tabla 2: Valores de ODP y GWP para los refrigerantes más utilizados en Colombia y los posibles sustitutos en estudio. Coeficientes de Rendimiento COP para sistemas de expansión directa utilizando los refrigerantes de la tabla.

Refrigerante	Clasificación de seguridad ^B	ODP ^B	GWP (100 yr ITH) ^B	COP Te=10°C ^A	COP Te=-10°C ^A	COP Te=-25°C ^A
R12	A1	1,000	10900	6,767	3,290	2,191
R22	A1	0,055	1810	6,626	3,232	2,161
R134a	A1	0	1430	6,702	3,228	2,136
R290	A3	0	3,3	6,608	3,179	2,100
R404a	A1	0	3920	6,217	2,936	1,906
R407c	A1	0	1770	6,467	3,145	2,087
R410a	A1	0	2090	6,323	3,072	2,046

Refrigerante	Clasificación de seguridad ^B	ODP ^B	GWP (100 yr ITH) ^B	COP Te=10°C ^A	COP Te=-10°C ^A	COP Te=-25°C ^A
R507a	A1	0	3990	6,255	2,961	1,927
R600a	A3	0	~20	6,817	3,255	2,137
R717	B 2L	0	<1	6,751	3,274	2,175
R744	A1	0	1	NA	NA	NA

FUENTE : A Engineering Equation Solver, Departamento of Mechanical Engineering , Technical University of Denmark; V1,46, 2001. B Norma Tecnica ISO 817: 2014

La tabla 2 muestra la clasificación por seguridad de los refrigerantes más usados en Colombia, el potencial agotamiento del ozono ODP y el potencial calentamiento global GWP. También muestra los coeficientes de rendimiento (COP) de un circuito de refrigeración en expansión directa funcionando con los refrigerantes mostrados en la tabla; y a tres diferentes temperaturas de evaporación T_e y a la misma temperatura de condensación $T_c = 35^\circ\text{C}$.

100 yr ITH = 100 de horizonte de tiempo de integración

4. Coeficiente de rendimiento de refrigerantes y sistemas de refrigeración COP

El coeficiente de rendimiento (coeficiente of performance) es la razón entre potencia frigorífica con la potencia de compresión o en otras palabras es la razón del efecto frigorífico con el trabajo de compresión, entre más alta sea esta razón (mayor que uno), la cantidad de energía que se le debe suministrar al sistema de refrigeración es más baja. En la tabla 2 se muestra el COP de un sistema de refrigeración de expansión directa con los refrigerantes más usados en el país y los posibles sustitutos, también se ve que en la medida que la temperatura de evaporación disminuye, disminuye el COP.

Las temperaturas de evaporación para los diferentes sectores de aire acondicionado, refrigeración, almacenamiento de la mayoría de productos congelados son las tomadas en la tabla 2 , como se puede analizar, entre más baja la temperatura el COP disminuye, por lo tanto se debe entregar mayor energía al sistema de refrigeración para obtener la misma capacidad frigorífica, para los cálculos mostrado se tomó 10 Kw de capacidad de enfriamiento. Cuando se estén diseñando los sistemas se debe tener en cuenta el sector de aplicación, para no fijar las temperaturas de control muy bajas, que no se requieran y aumenten el consumo de energía.

En los sistemas de aire acondicionado de Colombia hay muchos funcionando con R22, comparando el COP a 10°C con el refrigerante R410a es mayor el de R22 en un 4,57 %, y con los datos de $\text{GWP}=2090$ del R410a, se muestra entonces que el ultimo no es un buen sustituto del R22, en definitiva, es mejor esperar las recomendaciones del Ministerio del Medio Ambiente para hacer la sustitución de equipos o refrigerantes en aire acondicionado.

Las neveras de uso doméstico, se fabrican en Colombia con R600a y según estudios de los principales fabricantes de estos equipos en Colombia ofrecen un COP de más de 4,(Isaza, 2015), lo que implica una reducción del consumo energético en los hogares de hasta del 40%, frente a las neveras de al menos diez años que funcionan con R134a con un $\text{GWP}=1430$, el cual se debe dejar de usar por el calentamiento global.

En la refrigeración comercial se usa en mayor porcentaje el R22 y el R507, por la facilidad del manejo de estos refrigerantes, aun no se ha desarrollado una tecnología con refrigerantes amigables con el medio ambiente que sean lo suficientemente probadas en Colombia, los sustitutos naturales serán los refrigerantes hidrocarburos R290 y R600a, lo que significa sistemas de refrigeración con mayor seguridad para las personas y bienes debido a la flamabilidad de estos dos refrigerantes, para sistemas nuevos se deberá buscar en el comercio todas

las características mostradas en la tabla 2. Y con los sistemas ya instalados se debe hacer rutinas de mantenimiento de tal forma que las emisiones de Gases tipo HCFC, CFC, que tienen un alto GWP y el ODP > 0 sean mínimas y controladas según las normas nacionales. Otra alternativa es utilizar sistemas con CO₂ transcrito ya que los fabricantes de equipos de refrigeración para grandes superficies, refrigeración comercial, han desarrollado esta tecnología; en Europa y Asia esta estandariza. El gobierno deberá suavizar los impuestos y los aranceles como ya los hizo para eliminar el uso de los CFC en todos sectores de la refrigeración y el aire acondicionado (Sánchez Segura, 2010).

La industria desde hace más de un siglo está usando sistemas centrales con refrigerante R717 Amónico, lo que se generalizó en la década de los 1990's con las medidas tomadas por el gobierno, las grandes instalaciones con este tipo de refrigerante han ayudado al desarrollo sostenible del país y el planeta, además, pronto saldrá la norma técnica colombiana, que regulará el diseño, instalación, seguridad y mantenimiento de estas plantas.

5. Conclusiones

Los ingenieros deben actualizarse continuamente en las sustancias que son utilizadas como refrigerantes para que los diseños sean amigables con el medio ambiente.

El coeficiente de rendimiento de un sistema de refrigeración debe evaluarse por el tipo de refrigerante, las temperaturas de evaporación y condensación.

Se debe hacer una correcta selección del sistema de refrigeración para cada sector de la industria y el aire acondicionado porque dependiendo de la aplicación y la carga térmica se seleccionarán los sistemas de expansión directa, sistema inundado, sistema recirculado, o para el CO₂ sistemas transcritos. Esta selección permitirá ver las oportunidades de usar refrigerantes naturales, además disminuir los consumos de energía.

Cuando las diferencias entre las temperaturas de evaporación y condensación sean muy altas (ver tabla 2), la cantidad de energía a suministrar aumentará, se deberá diseñar sistemas en dos etapas o en cascada, lo que permitirá ahorros energéticos desde el 21%, aumentando el coeficiente de rendimiento del sistema COP.

6. Referencias bibliográficas

- Ibeth, X., & Tirado, S. (2007). Implementación del Protocolo de Montreal en Colombia. *Produccion + Limpia*, 2, 15. Retrieved from http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/523/1/PL_V2_N1_p091-105_protocolo_montreal.pdf
- Isaza, C. (2015). Análisis comparativo de sistemas de refrigeración doméstica utilizando refrigerantes R600a y R134a. *Investigación Tecnología Y Ciencia; Jara Cobos Nelson*, 9. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Nelson_Jara/publication/304627433_Analisis_comparativo_de_sistemas_de_refrigeracion_domestica_utilizando_refrigerantes_R600a_y_R134a/links/57755af908ae1b18a7dfde95.pdf
- ISO. (2014). Refrigerants-Designation and Safety Classification ISO 817-2014.
- Llombai, I. E. S. (2015). Panorámica Actual de los Refrigerantes. In U. J.-I. De (Ed.), *PAnprama Actual de los Refrigerantes* (p. 64). Valencia.
- MADS. (2016). Política Nacional de Cambio Climático, 130. Retrieved from http://www.andi.com.co/Ambiental/SiteAssets/PNCC_Versión_21072016.pdf
- PNUMA. (2015). *Normas Internacionales de Refrigeración y Aire Acondicionado*.
- Sánchez Segura, J. E. (2010). *OZONO. Ministerio del Medio Ambiente*. Bogotá.
- TECHNICAL-UNIVERSIT-THE-DEMNNARK. (2001). COOLPACK.