

ALTERNATIVAS NATURALES Y DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL



SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN



MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Presidente de la República
Juan Manuel Santos Calderón

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Luis Gilberto Murillo

Viceministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Luis Alberto Botero López

Director de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana
Willer Edilberto Guevara Hurtado



UNIDAD TÉCNICA OZONO - UTO

Coordinadora Nacional
Leydy María Suárez Orozco

Equipo Técnico
Nidia Mercedes Pabón Tello
Hilda Cristina Mariaca Orozco
Angélica Nataly Antolínez Esquivel
Edwin Mauricio Dickson Barrera
Xiomara Ibeth Stavro Tirado
Gabriel Felipe Martínez Romero
Karol Alejandra Paz González
María Carolina Vélez Rincón
Cristian Julián Veloza

Equipo Administrativo
Myriam Cristina Jiménez Moreno
Oscar Mauricio Jaimes González

Diseño y Diagramación
José Roberto Arango R.

Agradecimientos
Omarly Acevedo

Fotografías
Archivo UTO

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO - PNUD

Representante Residente
Arnould Peral

Oficial de programa
Jimena Puyana

¡HACIA DONDE VAMOS!

En la semana del 10 al 14 de Octubre de 2016, el gobierno Colombiano representado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, participo de la vigésima octava Reunión de las Partes en el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono (MOP-28), en Kigali-Ruanda, donde se ratificó después de varios años de discusión, la iniciativa de enmendar el Protocolo de Montreal incorporando dentro de su ámbito de aplicación a los hidrofluorocarbonos (HFC).

Esta es una noticia muy importante a nivel mundial ya que mediante la ratificación se hace posible complementar la efectividad del Protocolo de Montreal en la eliminación de sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO), con la oportunidad de colaboración entre los acuerdos ambientales y en aportar a las soluciones del cambio climático. Con esta enmienda se espera lograr un gran beneficio en el impacto sobre el cambio climático por medio del control del consumo de los HFC, articulando los temas de eficiencia energética y aprovechando la experiencia exitosa de mecanismo financiero del Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal durante los últimos 25 años, donde los países desarrollados (Artículo 2) aportan recursos para implementar estrategias que permitan el cumplimiento de las obligaciones de los países en desarrollo (Artículo 5).

La decisión acordada acogió cronogramas de eliminación de los HFC conforme a las realidades tanto de los países desarrollados como de los países en desarrollo.

Los grandes desafíos, a nivel global, para la implementación de la enmienda comprenden aspectos de orden económico, de mejorar la disponibilidad de las alternativas en los mercados, eficiencia energética, seguridad en las instalaciones entre otros aspectos que deben evaluarse en la conversión de sistemas y uso de refrigerantes naturales como alternativas de bajo impacto ambiental.

Pese a que Colombia ha implementado estrategias con el fin de prevenir el crecimiento del consumo de HFC en el país, esta enmienda se convierte en el impulso para continuar y multiplicar esfuerzos en la tarea de identificar alternativas de bajo impacto ambiental aplicables a los diferentes sectores de usuarios finales de estas sustancias, en este orden, es el momento para abordar los retos de la conversión de tecnología y disminución del uso de sustancias con alto PCG (Potencial de Calentamiento Global) en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, ya que es un sector de alto crecimiento, que contribuye a la emisión de gases efecto invernadero GEI de acuerdo a los inventarios de emisiones realizados en el marco de la tercera comunicación nacional de cambio climático. El inicio del cro-

Cronograma de congelación y reducción de HFC	
Países A-2: Primer grupo *	Países A-5: Primer Grupo**
Línea Base Promedio del consumo de los HFC en 2011, 2012 y 2013 más el 15% de la línea de base de consumo de los HCFC (expresada en CO2 equivalente) 2019 Primera reducción 10% 2024 Segunda reducción 40% 2029 Tercera reducción 70% 2034 Cuarta reducción 80% 2036 Quinta reducción 85%	Línea Base Consumo promedio de los HFC en 2020, 2021 y 2022 más el 65% del consumo correspondiente a la línea de base de los HCFC Congelación 2024 2029 Primera reducción 10% 2035 Segunda reducción 30% 2040 Tercera reducción 50% 2045 Cuarta reducción 80%

* Los países desarrollados menos Bielorrusia, La Federación de Rusia, Kazajistán, Tayikistán y Uzbekistán.

** Los países en desarrollo (Colombia) menos Bahréin, India, Irán, Iraq, Kuwait, Omán, Pakistán, Qatar, Arabia Saudita y los Emiratos Árabes Unidos.



Al servicio
de las personas
y las naciones

nograma para la eliminación de los HFC en Colombia está marcada por el congelamiento del consumo para el año 2024 y la primera reducción correspondiente al 10% de esta línea base para el año 2029. Las estrategias que se implementen en torno a la eliminación de los HFC servirán de complemento y para dar continuidad a los esfuerzos en la eliminación de las SAO, la cual es inminente con una meta del 65% de eliminación de los HCFC en el año 2021.

Ante este panorama se hace indispensable implementar desde ahora las estrategias para reducir consumo de los HFC, identificando las alternativas de bajo impacto ambiental que pueden aplicarse al contexto técnico, económico y social de nuestro país. Un primer esfuerzo es divulgar la introducción de los refrigerantes naturales como lo son el CO₂, el amoníaco, y los hidrocarburos (HC) en aplicaciones concretas, con el fin de demostrar alternativas viables y disponibles para algunos sectores de la industria, logrando abrir espacios de discusión e intercambio de conocimiento que promuevan tecnologías libres de HFC.

La Unidad Técnica Ozono del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ha venido realizando actividades para la promoción y divulgación de las alternativas de bajo PAO y PCG, a través de capacitación de técnicos en buenas prácticas de refrigeración y aire acondicionado, sensibilización a usuarios finales, talleres teórico-prácticos con refrigerantes naturales, seminarios con ponentes nacionales e internacionales abarcando alternativas y pruebas piloto con refrigerantes naturales en diferentes actividades económicas.

Asimismo, se han identificado iniciativas y experiencias en la implementación de alternativas de bajo impacto ambiental en el país por parte de usuarios finales de sistemas de enfriamiento que utilizan refrigerantes naturales; estas experiencias permiten demostrar el correcto funcionamiento de los sistemas en actividades y aplicaciones como la cadena de frío de cultivos de flores, grandes superficies, cuartos fríos en morgues, entre otros, demostrando que bajo condiciones adecuadas de seguridad, el uso de refrigerantes naturales es viable desde los aspectos económicos, técnicos y de eficiencia energética.

Si bien las iniciativas particulares son un importante esfuerzo en la identificación de alternativas de bajo impacto ambiental, los nuevos compromisos ambientales mundiales representan un reto e invitación a establecer estrategias efectivas dirigidas a los usuarios finales de sistemas refrigeración y aire acondicionado para emprender un camino hacia el uso de refrigerantes definitivos que permitan un desarrollo con bajo carbono y una transformación de mercado que viabilice el aumento de proyectos con altos criterios ambientales y de eficiencia energética.

La presente publicación tiene como objetivo brindar un espacio de divulgación de información técnica de experiencias aplicadas actualmente en Colombia con criterios de bajo impacto ambiental y de eficiencia energética en sistemas de refrigeración, como aporte para estimular nuevas experiencias que permitan abordar los desafíos en la eliminación de las SAO y el control de los HFC.



SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO EN CASCADA CON CO2 EN GRANDES SUPERFICIES - PRICESMART

Nombre de la tienda/instalación/organización: HIPERMERCADO PRICESMART COLOMBIA SAS

Ubicación: Pereira, Medellín, Barranquilla, Cali y Bogotá.

Información de contacto: Didier Otálora; Jefe de Mantenimiento nacional; dotalora@pricesmart.com

Tipo de aplicación: Hipermercado, área promedio de tiendas en el país 5000 m2

Refrigerante utilizado. PriceSmart posee un sistema de enfriamiento tipo cascada, que utiliza como refrigerante CO₂ en el sistema de baja temperatura, el cual posee un Potencial de agotamiento de Ozono (PAO) equivalente a cero (0) y un Potencial de Calentamiento Global (PCG) equivalente a uno (1). Mientras que el refrigerante utilizado en el sistema de alta temperatura, es el (HFC) R-507A, con PCG de 4300¹.

Nuevo Sistema/instalación: PriceSmart, es una cadena de hipermercados estadounidenses que tiene presencia en Colombia desde el año 2011, en las ciudades de Cali, Barranquilla, Pereira, Bogotá y Medellín. Dentro de sus políticas se destaca su compromiso con el cuidado del ambiente, y en especial con la disminución de la huella de carbono, razón por la cual viene implementando tecnologías de enfriamiento con bajo impacto en el clima, al utilizar refrigerantes eficientes energéticamente con cero PAO y bajo PCG.

Los requerimientos de frío de esta cadena de hipermercados, están cubiertos por una configuración tipo cascada, conformada por dos sistemas de refrigeración codependientes, uno de media temperatura con R-507A (sistema primario) y otro a baja temperatura con R-744 o CO₂ (sistema secundario). Este sistema de enfriamiento alimenta los equipos de uso final que se encuentran a media y a baja temperatura como cuartos fríos de almacenamiento, islas de exhibición de productos refrigerados y congelados, vitrinas verticales de congelación y de conservación y áreas de procesamiento de producto. En PriceSmart al igual que en la mayoría de hipermercados, la distribución del uso de las potencias frigoríficas requeridas por temperatura de evaporación es del 75% para los sistemas de media temperatura y del 25% para baja temperatura aproximadamente.

En el sistema de media temperatura con R-507A se incluye un evaporador que servirá de condensador para sistema de baja temperatura con CO₂. El sistema tipo cascada permite reducir las altas temperaturas y presiones del sistema con CO₂. Los evaporadores de media temperatura trabajan en régimen inundado (o sobrealimentado), siendo el CO₂ impulsado mediante bombas. Los equipos de uso final de baja temperatura son del tipo expansión directa.

El primer circuito que opera con CO2 consta de un rack con 4 compresores de 5 HP, mientras que el segundo opera con R-507A, posee 6 compresores de 10 HP. Las temperaturas de evaporación oscilan entre -1°C para conservación y -26°C para congelación. El coeficiente de rendimiento (coefficient of performance COP, por sus siglas en inglés) promedio total para el sistema se estima en 2,31 aproximadamente.

Tabla 1. Presiones de trabajo que maneja en promedio el sistema en Cascada de PriceSmart

CIRCUITO	PRESIONES DE SUCCION	PRESION DE DESCARGA
Circuito primario con R-507A.	45 psi	200 psi
Circuito secundario con CO2	195 psi (30 bares aprox.)	380 psi (10 bares aprox.)

¹ Ashre 34 Handbook, 2013 - Atmospheric lifetimes, ODPs, and GWP100s from Table 2-1 of UNEP (2010).



Aspectos de seguridad: El CO₂ se clasifica en la categoría “A1” la cual es la más segura en el caso de los refrigerantes. PriceSmart cumplió la normativa y parámetros de seguridad en las etapas de diseño, instalación y mantenimiento, garantizando los criterios de seguridad para el uso del CO₂ como refrigerante. Sin embargo, teniendo en cuenta que el CO₂ es un gas incoloro e inodoro, que resulta asfixiante por desplazamiento del oxígeno, las tiendas poseen detectores de CO₂ fijos en la sala de máquinas a nivel de piso y detectores portátiles con el que se hace una inspección diaria como rutina, en caso de encontrarse una fuga, esta es corregida inmediatamente.

Mantenimiento: Los sistemas en cascada utilizados en PriceSmart resultan muy confiables disminuyendo así los costos de mantenimiento en comparación con otros sistemas. El personal encargado de la jefatura de mantenimiento y los técnicos han sido capacitados por la compañía de ingeniería encargada del diseño, instalación y puesta a punto de los equipos.

Disponibilidad de refrigerante. Las instalaciones de CO₂ necesitan de una carga de gas menor que los tradicionales, en el caso de los sistemas utilizados por PriceSmart en promedio poseen una carga de 12 kg de CO₂ para baja temperatura y 32 kg para media temperatura. En Colombia existen proveedores para el suministro y transporte de este refrigerante el cual es adicionalmente de bajo costo.

Consumo energético. Los sistemas en cascada con CO₂ de acuerdo a las condiciones de operación no representan ahorros significativos en consumo energético con respecto a

las instalaciones tradicionales, sin embargo el uso de este tipo de refrigerantes por presentar una capacidad de enfriamiento mayor requiere menos potencia eléctrica en su uso normal. Adicional a ello PriceSmart a implementado sistemas de control y dispositivos para hacer aún más eficiente la operación del sistema.

Los sistemas con CO₂ presentan menor consumo energético que instalaciones tradicionales, en lo referido a baja temperatura ya que la potencia de los compresores es muy inferior a una instalación convencional.

Impacto en el medio ambiente. El CO₂ es utilizado en el sistema de baja temperatura, es un refrigerante que posee un PAO de 0 y PCG de 1. Mientras que el refrigerante utilizado en el sistema de media temperatura, es un HFC con PCG de 4300², por lo cual en un caso de fuga, las emisiones a la atmosfera impactan altamente el calentamiento global. Sin embargo, hay que resaltar que este refrigerante se encuentra confinado, por lo que la cantidad de refrigerante se disminuye y es fácil de controlar las fugas en caso de presentarse. Lo anterior permite concluir que el sistema en cascada con R-507A y R-744, presenta un bajo impacto sobre la capa de ozono y el cambio climático.

Retos y lección aprendida

- Implementar sistemas de enfriamiento con refrigerantes con bajo PCG en ambos circuitos del sistema en cascada, en primera instancia se ha considerado remplazar el R-507a por el R-134A (PCG=1360)³, ya que el ultimo posee menos potencial de calentamiento global.
- Las fugas con CO₂ requieren de una atención oportuna, la implementación del sistema y la capacitación brindada a nivel corporativo ha generado mayor conciencia en el manejo oportuno de las fugas.
- Se ha desmitificado el manejo del CO₂ entre el personal que manipula este refrigerante y vigila el correcto funcionamiento de los sistemas.

PROYECTO DEMOSTRATIVO USO DE LOS HIDROCARBUROS COMO REFRIGERANTE EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE CUARTOS FRÍOS EN LA POSCOSECHA DE FLORES EN LA SABANA DE BOGOTÁ

Caso de estudio: uso de propano (R290) como refrigerante en cuartos fríos
Nombre de organización: GR Chía SAS - Asocolflores
Ubicación: Sopo, Cundinamarca, Colombia.
Información de contacto: Hugo Fernando Montero, Asocolflores, hmontero@Florverde.org.
Tipo de aplicación: En el proceso de poscosecha de flores se debe velar por asegurar la cadena de frío del producto entre el momento de la cosecha y el consumidor final, este proceso incluye cuartos fríos para los procesos de recepción y despacho de flor ya procesada. El sector floricultor es consciente de aplicar buenas prácticas que mejoren la calidad de su producto y que disminuyan el impacto sobre el medio ambiente, en este sentido la búsqueda de alternativas de bajo impacto ambiental en sus sistemas de enfriamiento ha sido una constante, en esta experiencia se han invertido esfuerzos y recursos para llevar a cabo la conversión, instalación y puesta en servicio de un sistema de enfriamiento con el uso de hidrocarburos HC (R290) como refrigerante en un cuarto frío de despacho de flores que originalmente trabajaba con HCFC 22.

Tecnología inicial: El cuarto frío de despacho de flores, se encuentra ubicado en el municipio de Sopó, el sistema de enfriamiento consiste en dos unidades condensadoras de 5HP y 7,5HP, cada una con dos evaporadores para un total de cuatro al interior del cuarto, el sistema trabajaba en expansión directa con HCFC 22.

Características generales del cuarto	
Dimensiones	10.85 x 10.96 x 3.3 m (392.4 m3)
Carga térmica instalada	130.000 Btu/h (38 kW)
Unidades Condensadoras	5HP hermética 7,5HP hermética
Evaporadores	4 unidades, dos por cada unidad condensadora
Tableros eléctricos	Un tablero independiente por unidad condensadora
Carga de Refrigerante	60 kg de HCFC 22 total para los dos sistemas



Objetivos del proyecto

- Identificar los requerimientos técnicos de una instalación con R-290 (propano), aplicados al caso de los cuartos fríos usados en la poscosecha de flores.
- Realizar la instalación de los sistemas o equipos indispensables para el control y monitoreo, para garantizar la seguridad, y viabilizar el uso de R-290 como refrigerante.
- Medir y evaluar el desempeño térmico y energético del sistema con R290, respecto al original con el uso del HCFC 22.

² Ashre 34 Handbook, 2013 - Atmospheric lifetimes, ODPs, and GWP100s from Table 2-1 of UNEP (2010).
³ Ashre 34 Handbook, 2013 - Atmospheric lifetimes, ODPs, and GWP100s from Table 2-1 of UNEP (2010).

Consideraciones para la conversión del sistema:

1. Consideraciones de desempeño del sistema

Hay dos consideraciones principales en lo que respecta a las características de rendimiento del sistema de refrigeración, que la conversión proporcione suficiente capacidad de refrigeración y que se logre una eficiencia mínima requerida. Para el sistema se llevó a cabo una evaluación básica de funcionamiento del sistema en la cual se pudo identificar que el R290 proporcionará una reducción de casi 10% en la capacidad de refrigeración, se espera que el COP sea mayor y el consumo de energía se reduzca en al menos un 10%

Refrigerante	R22	Propano	Diferencia
Temperatura de Condensación (°C)	40	38	2
Temperatura de Evaporación (°C)	-15	-14	-1
Relación de presión (-)	5.2	4.3	83%
Temperatura de descarga (°C)	94	64	30
Capacidad de refrigeración (kW)	38.9	36.1	93%
COP (-)	2.60	2.78	107%
Consumo energético (kWh/24 h)	358	311	87%

2. Aspectos de seguridad relativos a la presión del sistema

En este análisis se debe evaluar la idoneidad del sistema original con respecto a los requerimientos de presión del nuevo refrigerante, para este caso el HC-290 trabaja con presiones aproximadamente 14% más bajas que el HCFC22 por lo tanto es poco probable que las presiones en el sistema convertido excedan la presión máxima permisible, sin embargo se realizó la evaluación bajo la directiva Europea de equipos a presión, con el fin de determinar si se requerían cambios en los componentes del sistema, o si se requerían dispositivos de se-

guridad de presión adicionales o si debían considerarse otras medidas. Los resultados de la evaluación se realizaron para cada componente de los sistemas y el resultado fue favorable sin presentarse requerimientos de cambio de elementos o acciones de adicionar elementos de seguridad por presión.

Criterio	Resultado	Acción
¿Algún componente es no aceptable?	No	Ninguna
La más alta categoría de PE?	Categoría II	Normal, requiere revisión de funcionamiento
Requiere Dispositivos de control de presión adicionales?	No, ya se encuentran en el sistema	Ninguna
Requiere Alivios de presión adicionales?	No, ya se encuentran en el sistema	Ninguna

3. Aspectos relacionados con la inflamabilidad del refrigerante

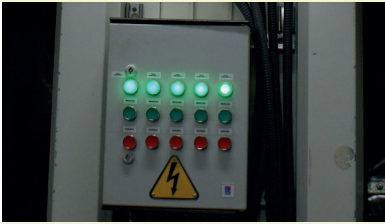
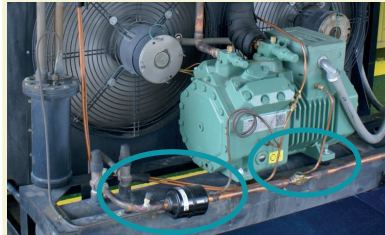
El HC290 es un refrigerante de clasificación "A3", de baja toxicidad y alta flamabilidad y por lo cual su uso requiere de aspectos de seguridad que limiten esta característica y permitan la operación del sistema con los controles necesarios. El HC290 utilizado es un refrigerante que posee un PAO de 0 y PCG de ~5, el cual demuestra un bajo impacto al ambiente, mientras que el refrigerante (HCFC) R22 posee un PAO de 0,055 y un PCG de 1790, por lo que si se emite a la atmosfera impacta la capa de ozono y altamente el calentamiento global.

En esta experiencia se realizó la evaluación de inflamabilidad a través de la conformidad con la norma de seguridad en sistemas de refrigeración (en este caso EN 378) y de la conformidad en cuanto a los estándares en áreas peligrosas (como la EN 1127-1).

Un punto crítico de la evaluación es la carga de refrigerante y la concentración que pueda desarrollarse en el cuarto frío. Asumiendo una carga de 10 kg de R290, la concentración

máxima dentro de la cámara frigorífica sería de 25 g/m3, esta carga es aceptable ya que la clasificación del cuarto es clase C en donde la ocupación es de acceso solo a personal au-

torizado. Con el fin de dar cumplimiento a las normas se identificaron los riesgos y las medidas a ser adoptadas para la conversión del sistema.

RIESGO	MEDIDAS PARA REDUCIR EL RIESGO	
Probabilidad de alcanzar un volumen de HC (R-290) que sea inflamable en el cuarto frío	Nueva instalación de la tubería, Por fuera del cuarto frío	
Probabilidad de alcanzar un volumen de HC (R-290) que sea inflamable en el cuarto frío	Se instaló un detector de HC en el interior del cuarto frío, que prende una alarma visual y audible y cierra el suministro de Energía eléctrica al cuarto, en el caso de Que la concentración de propano en el Interior del cuarto alcance el 10% del LFL	
Fuentes de ignición	Se eliminaron las fuentes de ignición	
Probabilidad de alcanzar un volumen de HC (R-290) que sea inflamable (debido a fugas de refrigerante)	Se eliminaron las uniones roscadas, sustituyéndolas por uniones soldadas.	
Fuentes de ignición	Se eliminaron las fuentes de ignición (Cambio de localización de Control de presión, Conexiones en cajas Selladas).	
Fuentes de ignición	Se eliminaron las fuentes de ignición (Tablero eléctrico IP65)	

- El proyecto realizó el rediseño del sistema eléctrico y del sistema de refrigeración teniendo en cuenta las acciones para el cumplimiento de los aspectos de seguridad analizados y evaluados, una vez identificadas las actividades y equipos adicionales el proyecto de conversión se implementó en el cuarto frío de despacho de flores.

Conversión del sistema

La conversión del sistema incluyó las actividades de adecuaciones de los sistemas eléctricos y de refrigeración para eliminar los riesgos analizados en la evaluación de flama-bilidad del sistema. Se cambiaron los compresores por compresores semiherméticos marca Bitzer diseñados para el uso de HC como refrigerante.



Para las actividades de conversión se capacitó a los técnicos encargados de la instalación de refrigeración, en el manejo seguro del HC como refrigerante en el marco de la implementación de los talleres de Buenas prácticas promovidas por el proyecto de capacitación de técnicos de la Unidad Técnica Ozono. Con la conversión del sistema se ha podido evidenciar una ahorro energético del 20% aprox, las condiciones de trabajo del sistema se presentan a continuación:

		Sistema # 1(5HP)		Sistema # 2(7,5 HP)	
Refrigerante		R22	R290	R22	R290
T condensación	°C	30.0	30.0	30.0	30.0
T evaporación	°C	-4.0	-4.0	-4.0	-4.0
P condensación	psi	210	160	210	160
P evaporación	psi	50	45	50	45
COP		2.5	2.9	3.50	3.8
Carga de refrigerante	Kg	21	8	38	16

Barreras a la implementación del proyecto

Barreras Técnicas: Se identifica en el país la falta de ingenieros y técnicos entrenados en el manejo de hidrocarburos como refrigerantes al igual que existe la dificultad para encontrar expertos nacionales para realizar el análisis de riesgo y la clasificación de áreas peligrosas.

Barreras Comerciales: Se identifica la dificultad para adquirir equipos y dispositivos para trabajar con HC290, en la cadena normal de suministro para los sistemas de enfriamiento en el sector de refrigeración y aire acondicionado (RAC).

Barreras normativas: Actualmente el país no cuenta con estándares técnicos y referencias para que las empresas de RAC y los usuarios finales puedan referirse y tomar como base en la evaluación de sus proyectos.

Barreras Culturales: La ausencia de estándares y de técnicos capacitados genera desconfianza en los usuarios finales para hacer un cambio de tecnología. Falta de ejemplos y proyectos demostrativos que generen tranquilidad en los usuarios para el uso del HC290.

SISTEMAS DE CONSERVACIÓN EN CASCADA CON CO2 EN
INSTITUTO DE MEDICINA LEGAL Y CIENCIAS FORENSES

Nombre de organización: INSTITUTO NACIONAL DE MEDICINA LEGAL Y CIENCIAS FORENSES
Ubicación: BOGOTÁ D.C.
Información de contacto: HUGO COLMENARES MERCHAN – Coordinador Grupo Nacional Gestión Servicios Técnicos Especializados, dste@medicinalegal.gov.co
Tipo de aplicación: Renovación, Instalación y puesta en servicio de un sistema tipo cascada de operación subcrítico de CO₂ con R-134A con destino a los cuartos mortuorios y de evidencias de la Dirección Regional Bogotá.

Sistema Antiguo

Tecnología de transición: El Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses en la ciudad de Bogotá, cuenta con seis (6) cuartos fríos de refrigeración y congelación distribuidos para conservación de cuerpos y congelación de evidencias, los cuales para su funcionamiento contaban con 8 unidades condensadoras con igual número de unidades evaporadoras, funcionaban con gas refrigerante R-22, R-507A y R-134A, a dichos sistemas a través de los años se le realizaron renovaciones orientadas a la migración de los refrigerantes, teniendo en cuenta que en el mercado se viene manejando con mayor frecuencia gases más eficientes y de menor impacto ambiental, razón por la cual,

se decidió realizar el proyecto de renovación de los mismos al sistema tipo cascada de aplicación subcrítica de CO2 con R-134A.

Sistema Original: Seis (6) cuartos fríos de refrigeración y congelación, que funcionaban con gas refrigerante R-22, R-507A y R-134A. Los cuartos están fabricados en panelería aislante modular con poliuretano expandido de alta densidad y con un espesor aproximado de 4 pulgadas (10 cm aprox), poseen un acabado interior y en las áreas que quedan a la vista en acero inoxidable 304 tipo 2B.

Todas las unidades condensadoras se encontraban a la intemperie y ensambladas en bandeja metálica resistente a la corrosión, dotadas de unidades compresoras semiher-



méticas a excepción de una que tenía compresor hermético, las especificaciones eléctricas realizadas con conexión a red trifásica 208V 60Hz, para baja y media temperatura dependiendo el tipo de aplicación. Cada unidad fué calculada de acuerdo con los requerimientos de enfriamiento de cada uno de los cuartos y bajo el criterio de que el condensador tuviera una capacidad del 25% mayor a la capacidad del compresor, todas las unidades estaban dotadas con los dispositivos de almacenamiento y control comúnmente usados en este tipo de sistemas.

Las unidades evaporadoras eran de aire forzado, contaban con válvula de expansión termostática para el tipo de refrigerante utilizado y dotadas de motoventiladores de alta eficiencia a 208V 60Hz para baja y media temperatura dependiendo el tipo de aplicación,

adicionalmente contaban con subsistema de descongelación por resistencias a 208V, todas las unidades fueron seleccionadas de acuerdo con la capacidad de enfriamiento requerida en cada uno de los cuartos.

Todos los cuartos conservaban buena hermeticidad para evitar condensación en la puerta y entre las juntas de los módulos, los marcos de las puertas estaban dotados de resistencias para evitar la presencia de condensado ó hielo en las mismas.

Todos los cuartos contaban con tablero independiente de fuerza y control electrónico de temperatura con sus respectivas sondas para programar y ajustar la temperatura de uso, tiempos y ciclos de descongelación, además de indicador digital de temperatura.

A continuación relacionamos información puntual para cada uno de los cuartos.

Cuarto	Tipo Compresor	Temperatura	Tipo Refrigerante	Dimensiones
Cuarto de Conservación de evidencias	semihermético Coopeland de 5HP	Media temperatura +5°C	HFC 134A	5,62 x 3,58 x 2,4 metros (largo x ancho x alto)
Cuarto de Congelación de Evidencias	semihermético Bitzer de 3HP	Baja temperatura -18°C	HFC 507	3,20 x 3,58 x 2,4 metros (largo x ancho x alto)
Cuarto de conservación de cuerpos (Capacidad 32 cuerpos)	semihermético Bitzer de 3HP	Media temperatura +3°C	HFC 134A	7,5 x 2,7 x 2,4 metros (largo x ancho x alto)
	semihermético Bitzer de 3HP	Media temperatura +3°C	HFC 134A	
Cuarto de conservación de cuerpos (Capacidad 40 cuerpos)	semihermético Coopeland de 5HP	Media temperatura +3°C	HFC 507	6,5 x 3,58 x 2,4 metros (largo x ancho x alto)
	semihermético Bitzer de 3HP	Media temperatura +3°C	HFC 507	
Cuarto de conservación de cuerpos (Capacidad 24 cuerpos)	semihermético Bitzer de 3HP	Baja temperatura -18°C	HFC 507	5,6 x 3.7 x 2,4 metros (largo x ancho x alto)
Cuarto de conservación de cuerpos (Capacidad 16 cuerpos)	Compresor hermético similar a los de aire acondicionado	Media temperatura +3°C	HCFC 22	3,1 x 3.6 x 2,4 metros (largo x ancho x alto)

Sistema Nuevo

Refrigerante a utilizar: Sistema tipo cascada de aplicación subcrítica de CO₂-R134A

Nuevo Sistema / instalación: Rack tipo cascada para baja temperatura con CO₂ y R134a.

Etapas de baja:

Sistema de refrigeración tipo central frigorífica - RACK con unidades compresoras tipo semiherméticas especialmente diseñados y aprobados por el fabricante para su uso con CO₂ aplicación subcrítica.

El RACK cuenta con unidades compresoras redundantes tanto en la primera como en la segunda etapa cuya carga frigorífica del sistema se calculó con un factor de seguridad del 20% por encima de la resultante de las cargas de baja temperatura, las condiciones de operación requeridas al fabricante fueron para una temperatura de evaporación de -29°C y de



condensación de -5°C para una altura sobre el nivel del mar de 2600m con una humedad relativa promedio del 55% y una temperatura ambiental de alrededor de 25°C.

Para la primera etapa se usó refrigerante R-134A. El sistema de media o primera etapa está dimensionado para manejar la carga de condensación o rechazo del sistema de baja temperatura de CO₂, el serpentín del tanque de almacenamiento de líquido de CO₂ y las unidades evaporadoras de los cuartos de conservación, con un rack de compresores especialmente diseñado para este tipo de aplicaciones. Está construido con todos los aditamentos requeridos para su correcto funcionamiento y el sistema de seguridad se instaló con redundancia, es decir que cuando falle una más de las unidades se tiene un conjunto de compresores que garantizan la operación del sistema.

El sistema de baja maneja las cargas con evaporadores de expansión directa, la condensación de este sistema se realiza mediante intercambiador tipo placas soldadas especial para esta aplicación.

Tabla 2. Temperaturas en cuartos y capacidad de almacenamiento

ITEM	CUARTO FRIO	TEMP. DE OPERACION
1	Cuarto mortuario con capacidad de 16 cuerpos	-10°C
2	Cuarto mortuario con capacidad de 16 cuerpos	-10°C
3	Cuarto mortuario con capacidad de 30 cuerpos	-10°C
4	Cuarto mortuario con capacidad de 30 cuerpos	-10°C
5	Cuarto mortuario con capacidad de 24 cuerpos	2°C
6	Cuarto de congelación de evidencias (2 toneladas aprox.)	-25°C
7	Cuarto de conservación de evidencias (5 toneladas aprox.)	2°C

Adicionalmente, el sistema cuenta con un tablero de control y potencia centralizado, el sistema de control cuenta con un microprocesador con el fin de verificar la presión de succión del sistema y permitir el encendido o apagado de los compresores de acuerdo a la demanda de frío del sistema, además de controlar el funcionamiento del condensador del sistema mediante el variador de frecuencia para aumento o reducción de la velocidad del ventilador. El sistema tiene un PLC con tarjetas de comunicación para realizar la supervisión remota y local.

Seguridad

El CO₂ se clasifica en la categoría “A1” que es la más segura en la clasificación de refrigerantes. Como ocurre con el resto de refrigerantes, el CO₂ es seguro siempre que se dé el adecuado cumplimiento de la normativa y la buena implementación de los aspectos de seguridad durante el diseño, instalación y mantenimiento.

El CO₂ es un gas incoloro e inodoro, pero que resulta asfixiante por desplazamiento del oxígeno. Es más pesado que el aire, por lo que hay que tener especial cuidado en los sótanos y garantizar una ventilación suficiente, por tal razón se cuenta en la sala de máquinas con un sistema de monitoreo electrónico para verificar la concentración de CO₂ presente en el aire circundante con menos de 800 ppm según normas EN13779 relativas a la buena calidad de aire interno. En el evento de alguna fuga el sistema se cuenta con una alarma que indica que hay una concentración peligrosa de CO₂ para la salud humana e inmediatamente hace funcionar extractores para evacuar el exceso de CO₂. Este sistema se encuentra en cada cuarto frío por seguridad.

Conclusiones

- El proyecto fue realizado durante ocho (8) meses.
- Fue un desafío lograr estimular la conversión del sistema antiguo en concordancia al ahorro verificable de energía eléctrica y la asimilación de esta tecnología por los



aspectos relacionados con el servicio y operación del sistema , pero en referencia a:

1. Consumo energético. Los sistemas con CO₂ presentan menor consumo energético que instalaciones tradicionales, en lo referido a baja temperatura ya que la potencia de compresores es muy inferior a una instalación convencional.
 2. Impacto en el medio ambiente. El CO₂ es utilizado en el sistema de baja temperatura, es un refrigerante que posee un (PAO) Potencial de agotamiento de ozono de 0 y (PCG) potencial de calentamiento global de 14. Mientras que el refrigerante utilizado en el sistema de alta temperatura, es un HFC con PCG de 1360⁴ el cual se encuentra confinado y por lo tanto la cantidad de refrigerante es baja y fácil de controlar en caso de presentarse una fuga.
- Durante el año 2016 se ha adelantado la replicación de esta instalación en otras sedes del Instituto.

4 Montreal Hourahan-2011 y 2016 , RTOC Assessment report (UNEP, 2014).

LOS REFRIGERANTES ALTERNATIVOS

Con la implementación del Protocolo de Montreal relativo a la eliminación del consumo de las sustancias agotadoras de ozono (SAO) y la firma de la enmienda de Kigali en relación al control de los HFC, se hace necesario el conocimiento de los valores de Potencial Calentamiento Global PCG de las sustancias refrig-

erantes en los sistemas de enfriamiento, para evaluar e identificar el impacto ambiental, brindando así herramientas para la toma de decisión frente a las tecnologías a implementar en las diferentes actividades económicas que requieran enfriamiento.

Refrigerantes HFC	Potencial Calentamiento Global 100-años (c)
HFC-134	1,100
HFC-134a	1,430
HFC-143	353
HFC-245fa	1,030
HFC-365mfc	794
HFC-227ea	3,220
HFC-236cb	1,340
HFC-236ea	1,370
HFC-236fa	9,810
HFC-245ca	693
HFC-43-10mee	1,640
HFC-32	675
HFC-125	3,500
HFC-143a	4,470
HFC-41	92
HFC-152	53
HFC-152a	124
HFC-161	12
HFC-23	14,800

Refrigerantes Naturales	Potencial Calentamiento Global100-años
HC-290	5 (b)
HC-600	~20 (a)
HC-600a	~20 (b)
HC-601a	~20 (a)
HC-1270	1,8 (b)
R-717	<1 (a)
718	<1
R-744	1 (b)
Ciclopentano (C5H10-Espuma)	~20

(a) Ashre 34 Handbook, 2013 - Atmospheric lifetimes, ODPs, and GWP100s from Table 2-1 of UNEP (2010)
(b) Montreal Hourahan-2011 y 2016 , RTOC Assessment report (UNEP, 2014).
(c) UNEP/OzL.Pro.28/CRP/10, Annex F: Controlled substances, 14 October 2016



ALTERNATIVAS NATURALES
Y DE BAJO IMPACTO
AMBIENTAL EN
**SISTEMAS DE
REFRIGERACIÓN**



UNIDAD TÉCNICA OZONO
C o l o m b i a

UNIDAD TÉCNICA OZONO - UTO

Carrera 13 No. 37 - 38 - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Teléfono: 3323400 ext. 2401 - 1241

www.minambiente.gov.co

Bogotá, D.C. - Colombia

2016