

**PERFIL TÉCNICO AMBIENTAL PARA EL SISTEMA DE AIRE
ACONDICIONADO EN INGENIERÍA ESPECIALIZADA S.A. -
IEB**

JUAN CARLOS ARIAS ALMEIDA

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
MEDELLÍN
2016**

**PERFIL TÉCNICO AMBIENTAL PARA EL SISTEMA DE AIRE
ACONDICIONADO EN INGENIERÍA ESPECIALIZADA S.A. - IEB**

JUAN CARLOS ARIAS ALMEIDA

Trabajo de grado para optar al título de:
ESPECIALISTA EN GESTIÓN AMBIENTAL

**Asesoras:
MARCELA PÉREZ R.
ADRIANA ALZATE T.**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
MEDELLÍN**

2016

14 de Julio de 2016

Juan Carlos Arias Almeida

“Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad” Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

Firma:

AGRADECIMIENTOS

Sea esta la oportunidad para expresar mis sinceros agradecimientos a Ingeniería Especializada S.A. – IEB, por todo el acompañamiento en mi formación personal y profesional, por cada oportunidad de volver y aprender, pero en especial por permitirme realizar mis sueños...

Quiero agradecer a mi familia, amigos y a mis compañeros José Alejandro, Maryluz, Diego Sebastián, Amelucxen y Paulo, de quienes siempre he recibido su apoyo y amistad...

Quiero agradecer a Gustavo Correa del área de Infraestructura y Compras de IEB por su apoyo con la información requerida para desarrollar este trabajo.

CONTENIDO

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO 1	11
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	11
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN.....	11
1.2. PERFIL TÉCNICO AMBIENTAL.....	12
1.2.1. Selección y priorización de bienes y/o servicios.....	13
1.2.2. Elaboración de la ficha perfil técnico ambiental del bien o servicio seleccionado..	13
CAPÍTULO 2	14
DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	14
2.1 SELECCIÓN Y PRIORIZACIÓN DE BIENES Y/O SERVICIOS.....	14
2.1.1 Definición de variables de análisis.....	15
2.1.2 Matriz de nivel de influencia de variables de análisis.....	16
2.1.3 Priorización de bienes y/o servicios.....	17
CAPÍTULO 3	19
PERFIL TÉCNICO AMBIENTAL DEL SERVICIO SELECCIONADO	19
3.1 INFORMACIÓN GENERAL DEL PRODUCTO Y EL MERCADO.....	19
3.1.1 Principio de operación de los aires acondicionados.....	19
3.1.2 Refrigerantes: Clasificación.....	21
3.1.3 Visión ecológica de los refrigerantes.....	23
3.1.4 Cumplimiento de la legislación ambiental.....	26
3.1.5 Tipo de sistema de aire acondicionado en IEB.....	27
3.2 ALCANCE.....	33
3.3 INVENTARIO DEL SISTEMA ANALIZADO.....	34
3.3.1 Componentes.....	34
3.3.2 Transporte.....	34
3.3.3 Utilización.....	35
3.3.4 Disposición final.....	36
CAPÍTULO 4	38
ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES	38
CAPÍTULO 5	41
CRITERIOS AMBIENTALES	41
CAPÍTULO 6	45
ECOETIQUETAS	45
CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Identificación de bienes y/o servicios con mayor número de requerimientos en IEB	14
Tabla 2. Ponderación de variables de análisis de priorización de bienes y/o servicios en IEB	16
Tabla 3. Matriz de nivel de influencia de variables para selección de bienes y/o servicios	17
Tabla 4. Priorización final de bienes y/o servicios	18
Tabla 5. Refrigerantes según grado de seguridad. Fuente: [23].....	22
Tabla 6. Refrigerantes actuales y futuros sustitutos y valores de ODP y GWP. Fuente: [12]	26
Tabla 7. Composición del refrigerantes R422D. Fuente: [12]	34
Tabla 8. Identificación de aspectos e impactos ambientales durante el proceso de mantenimiento de sistema de aire acondicionado en IEB. Fuente: Autoría propia	38
Tabla 9. Criterios ambientales para la adquisición de servicios de mantenimiento de aire acondicionado en IEB. Fuente. Autoría propia	41
Tabla 10. Etiquetas ecológicas o sellos verdes internacionales y de Colombia.....	46
Tabla 11. Eco-etiquetas solicitadas por IEB a los prestadores del servicio de mantenimiento de aire acondicionado	48

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ciclo de refrigeración en los sistemas de aire acondicionado. Fuente: Cómo funciona el aire acondicionado [6].....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2. Sistema hermético de almacenamiento del gas refrigerante R422D. Fuente: Autoría propia.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3. Sistema de colectores de aire a tratar (a) y difusores de techo de aire tratado a baja temperatura (b). Fuente: Autoría propia</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4. Sistema de filtros saturados con suciedad del ambiente (a), y después de ser limpiados (b) e instalados a la entrada de los colectores (c). Fuente: Autoría propia.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 5. Sistema de control de temperatura (a), (b) y sistema de distribución tipo compacto individual de instalación horizontal. Fuente: (a), (b) Autoría propia; (c) Guía de reconversión para el refrigerante DuPont ISCEON M029 (R422D) [5].....</i>	<i>31</i>

RESUMEN

La instalación de un sistema de aire acondicionado es considerada en una organización como una mejora del confort y la comodidad de los usuarios; inversión que también trae consigo consecuencias tanto en costos como para el ambiente. Como una forma de alinearse a la Política de Sostenibilidad de la empresa IEB, en este trabajo se realizó un análisis de los aspectos e impactos ambientales asociados con el proceso de mantenimiento del sistema de acondicionamiento de aire, lo cual llevó a la formulación de un conjunto de Criterios Ambientales para la contratación de oferentes de este tipo de servicio. Lo anterior fue el resultado de un Perfil Técnico Ambiental después de la selección de los principales bienes y servicios adquiridos por IEB. Las variables con mayor peso de priorización fueron el aporte a las condiciones de cambio climático y el impacto ambiental o social del bien y/o servicio analizado, por lo que se enfatizó en los gases refrigerantes restringidos y/o sustituidos por el Protocolo de Montreal y en la gestión ambiental de los residuos peligrosos y no aprovechables derivados del proceso de mantenimiento. Los criterios ambientales definidos buscan mejorar el desempeño ambiental y reducir los efectos contaminantes de los sistemas de aire acondicionado.

Palabras clave: Aire acondicionado, refrigerantes, PTA, SAO

INTRODUCCIÓN

Los avances en materia de tecnología le han reportado a la humanidad diversos beneficios, siendo los sistemas de aire acondicionado uno de los que más impacta sobre nuestro confort y calidad de vida [13]. Controlar las condiciones térmicas que vienen determinadas por variables ambientales e individuales y obtener el equilibrio entre ellas, es lo que determina la sensación térmica de nuestro cuerpo y nivel de confort. Es por esto que el mantenimiento de estas condiciones al interior de oficinas donde laboran muchas personas, particularmente temperatura, humedad, ventilación, pureza del aire y, además, cuidado del ambiente, se ha convertido en el mayor reto de las empresas de climatización en estos momentos [6]. Para 2040, se estima un aumento significativo del uso de aires acondicionados en las zonas de climas cálidos de países en desarrollo, redundando en un incremento del 64% en el consumo de electricidad y un aumento anual de 23,1 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂), según lo prevé el estudio realizado por Davis and Gertler [7]. Sin políticas concretas de mitigación a la vista, se estima que la demanda energética global de sistemas de aire acondicionado alcance los 4000 TWh para el año 2050 [4].

Adicional a esto, los efectos ambientales de algunos refrigerantes utilizados en los sistemas de aire acondicionado, originó que entre los años 1990 y 1995 se impulsara a nivel internacional, a través del Protocolo de Montreal, la sustitución de los refrigerantes CFC's, principales causantes del adelgazamiento de la capa de ozono, por refrigerantes tipo HCFC,

HFC o HC, con los cuales se elimina el cloro como componente nocivo y se emulan las condiciones termodinámicas de las aplicaciones a sustituir [10]. Aunque los HCFC también afectan la capa de ozono, se les utiliza como reemplazos transitorios para refrigerantes, solventes, gases propulsores para la producción de espumas plásticas y en extinguidores, ya que su efecto potencial sobre el ozono (ODP por sus siglas en inglés – *Ozone Depleting Potential*) es casi 20 veces menor y su potencial de calentamiento global (GWP – *Global Warming Potential*) es significativamente menor también. La falta de alternativas para los CFC y HCFC (por ejemplo, en inhaladores para el tratamiento del asma o sistemas de supresión de incendios en aeronaves y submarinos), son la razón para las pocas excepciones que existen a su uso [9], [16].

Actualmente, el gas R22 (clorodifluorometano) es el refrigerante más utilizado en el sector del aire acondicionado en aplicaciones de tipo industrial, comercial y doméstico. Sin embargo, con la normativa de la UE N°1005/2009 sobre sustancias que agotan la capa de ozono, estará prohibido importar, producir, vender y/o usar gas R22, permitiéndose su uso hasta el año 2015 [16]. Como sustitutos del gas R22 existen varias alternativas dependiendo de las características de la instalación y de los ajustes requeridos para un correcto funcionamiento. En los sistemas de aire acondicionado, los refrigerantes recomendados son el R427A y R417A ya que requieren menores ajustes en los equipos de refrigeración y permiten mejores prácticas de mantenimiento [10], [18].

Con el fin de alcanzar un equilibrio entre el desarrollo y la sostenibilidad ambiental, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, definió en el año 2010 la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible, cuyo objetivo es orientar el cambio de los patrones de producción y consumo de la sociedad colombiana hacia la sostenibilidad ambiental, contribuyendo a la competitividad de las empresas y al bienestar de la población [2]. A la luz de este propósito y considerando la Política de Sostenibilidad de Ingeniería Especializada S.A. –IEB–, el objetivo de este trabajo consiste en establecer criterios básicos de sostenibilidad para la selección de los proveedores asociados con el servicio de mantenimiento del sistema de aire acondicionado en sus oficinas principales de la ciudad de Medellín.

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN

Ingeniería Especializada S.A. –IEB– es una empresa dedicada a la prestación de servicios de consultoría, estudios e interventoría de diseño, montaje y construcción de subestaciones eléctricas y líneas de transmisión en las áreas de ingeniería eléctrica y civil, además de realizar capacitación, asesoría y acompañamiento en temas relacionados con la seguridad y salud en el trabajo. Dentro de sus objetivos en el Sistema de Gestión Integrado se encuentra la promoción de calidad de vida laboral, la prevención de enfermedades y accidentes ocupacionales, así como el impacto socio-ambiental y de seguridad y salud en el trabajo de las diferentes actividades que sus empleados, clientes y proveedores realizan dentro y fuera de la organización y sus instalaciones [11].

IEB tiene su sede principal en el Centro Empresarial Puerto Seco, adyacente a la Terminal de Transportes del Sur y al Aeropuerto Olaya Herrera de la ciudad de Medellín. En esta sede laboran 215 empleados y se tiene una población flotante de 20 personas, aproximadamente, principalmente clientes y proveedores de bienes y servicios. Toda esta población se encuentra expuesta a los efectos del sistema de acondicionamiento de aire bajo condiciones de funcionamiento diario normal y/o en

algunos de los ciclos de mantenimiento de estos sistemas realizados en días laborales o fines de semana.

1.2. PERFIL TÉCNICO AMBIENTAL

Un Perfil Técnico Ambiental –PTA– puede definirse como el proceso de identificación, valoración y priorización de los aspectos e impactos ambientales que caracterizan el ciclo de vida de un bien y/o servicio, a partir de los cuales se establecen criterios ambientales y medios de verificación que ayudarán a mejorar el desempeño ambiental del producto analizado y en la prevención de la contaminación de agua, aire o suelo donde el bien y/o servicio tiene influencia por su fabricación, operación o mantenimiento. Además, los criterios ambientales establecidos con el PTA pueden ser utilizados como mecanismo de toma de decisiones en el marco de las compras sostenibles, tanto en el sector público como privado [2], [13].

Para la realización del PTA de un bien o servicio en Colombia, la metodología que recomienda el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se encuentra descrita en la Guía Conceptual y Metodológica de Compras Públicas Sostenibles [13], la cual fue desarrollada por el Centro Nacional de Producción más Limpia –CNPML– para el mencionado Ministerio. En esta guía metodológica se establecen las diferentes fases para la implementación de compras sostenibles dentro de las organizaciones, integrando actividades del ciclo PHVA (Planear-Hacer-Verificar-Actuar) y del ciclo de vida de los productos y/o servicios.

La metodología que se seguirá en el desarrollo de este trabajo incluye las siguientes fases.

1.2.1. Selección y priorización de bienes y/o servicios

En esta primera fase metodológica se identifican los potenciales bienes y/o servicios sobre los cuales se realizaría el PTA, con base en un análisis de priorización. En este análisis de priorización, se realiza la selección de variables y a cada una de las cuales se le asigna un porcentaje de significancia y un peso en su nivel de influencia.

Una vez establecida la matriz de priorización, es posible identificar el o los bienes o servicios sobre los cuales se definirán criterios de sostenibilidad a través del PTA.

1.2.2. Elaboración de la ficha perfil técnico ambiental del bien o servicio seleccionado

Para la elaboración del perfil técnico ambiental se debe establecer el contexto en el cual se desarrolla el producto o servicio y su mercado, incluyendo la información general de las etapas del ciclo de vida y posibles impactos sobre el ambiente, para finalmente definir los criterios de sostenibilidad con los cuales se evaluará el bien o servicio seleccionado.

CAPÍTULO 2

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

2.1 SELECCIÓN Y PRIORIZACIÓN DE BIENES Y/O SERVICIOS

Para la selección y priorización de los bienes y/o servicios a analizar se tomó como punto de partida la base de datos del sistema de compras de IEB S.A. en donde se tiene el registro de los diferentes proveedores de bienes y/o servicios, incluyendo costos y cantidades de cada producto. De la revisión de esta base datos, se identificaron los bienes y/o servicios indicados en la Tabla 1, los cuales presentan un gran número de registros entre febrero de 2012 y noviembre de 2015.

Tabla 1. Identificación de bienes y/o servicios con mayor número de requerimientos en IEB

Ítem	Bien y/o servicio identificado
1.	Servicio de levantamiento topográfico y estudios de suelos en subestaciones eléctricas
2.	Compra de cartuchos tóner para impresoras Kyocera (incluye colores negro, cyan, amarillo, magenta)
3.	Servicio de transporte terrestre de personal técnico y equipos
4.	Productos para aseo/limpieza: detergentes, desinfectantes, papel, escobas, trapeadoras, baldes
5.	Servicio de instalación y/o mantenimiento del sistema de aire acondicionado
6.	Servicio de instalación y/o mantenimiento del sistema de iluminación
7.	Compra de EPP (cascos, botas dieléctricas, gafas, camisas, pantalones, osama, protección auditiva, chaleco reflectivo, etc.)
8.	Portátiles ASUS (incluye accesorios) y pantallas planas
9.	Compra y mantenimiento de sillas Enjoy
10.	Celulares AVANTEL ref. I365IS intrínsecamente seguros

2.1.1 Definición de variables de análisis

De las diferentes variables que presenta la Guía Conceptual y Metodológica de Compras Públicas Sostenibles [13], se consideraron las siguientes variables como criterio de análisis para la priorización de los bienes y/o servicios a evaluar:

- 1) **Volumen de la compra:** Si el bien y/o servicio se compra en un volumen bajo, medio o alto en valores absolutos (independientemente del peso que tenga dentro del presupuesto total de la entidad).
- 2) **Rotación:** Cantidad de veces que en un año se compra el bien y/o servicio.
- 3) **Cobertura interna de uso:** Se refiere a la utilización de este bien y/o servicio por un número bajo, medio o alto de personas dentro de la entidad (transversalidad).
- 4) **Aporte a las condiciones de cambio climático:** Generación de residuos o de gases de efecto invernadero (GEI) por la operación o mantenimiento del bien y/o servicio que deriven en efectos sobre el cambio climático a nivel local, regional, nacional e internacional.
- 5) **Impacto ambiental, social o reputacional:** Relación directa del uso del bien y/o servicio con impactos ambientales y sociales significativos, o que repercuten directamente en la reputación de la entidad (imagen, compromisos adquiridos, resultados y visibilidad de la entidad), entre otros.
- 6) **Capacidad de respuesta del mercado:** Se refiere a la disponibilidad que hay actualmente en el mercado de bienes y/o servicios con características sostenibles, y/o a la capacidad que tiene el mercado para responder rápidamente a la demanda con estos criterios.

A continuación, se asignó una ponderación a cada una de las variables de análisis de los diferentes bienes y/o servicios identificados, de acuerdo con su significancia en el desarrollo de las actividades de IEB S.A., como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Ponderación de variables de análisis de priorización de bienes y/o servicios en IEB

VARIABLES DE ANÁLISIS	PONDERACIÓN
Volumen de la compra	15%
Rotación	15%
Cobertura interna de uso	20%
Aporte a las condiciones de cambio climático	30%
Impacto ambiental, social o reputacional	15%
Capacidad de respuesta del mercado	5%

2.1.2 Matriz de nivel de influencia de variables de análisis

Una vez definidas las variables de análisis y su ponderación, fue establecida una matriz donde se define el nivel de influencia de cada variable según el bien y/o servicio evaluado para identificar el producto a trabajar en el marco de compras sostenibles. Para cada variable de análisis y cada bien y/o servicio, se estableció un valor de nivel de influencia teniendo en cuenta los registros de la base de datos de compras de IEB, donde dichos niveles corresponden a un valor de 1, 2 y 3, equivalentes a un nivel bajo, medio y alto, respectivamente, como se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Matriz de nivel de influencia de variables para selección de bienes y/o servicios

Bien y/o Servicio	Variable					
	Volumen de compra	Rotación	Cobertura interna de uso	Aporte a las condiciones de cambio climático	Impacto ambiental, social o reputacional	Capacidad de respuesta del mercado
Levantamiento topográfico y estudios de suelos	2	2	2	1	2	2
Cartuchos tóner para impresoras	3	3	3	2	2	2
Transporte terrestre de personal técnico y equipos	2	3	1	3	2	2
Productos para aseo/limpieza	1	2	3	2	3	1
Mtto sistema A.A.	3	2	3	3	3	2
Instalación y/o mtto sistema iluminación	2	3	3	2	2	1
EPP's	3	2	1	1	3	2
Portátiles ASUS	2	2	3	1	2	3
Compra y mtto sillas Enjoy	2	1	3	1	2	2
Celulares AVANTEL ref. I365IS intrínsecamente seguros	2	2	2	2	2	1

2.1.3 Priorización de bienes y/o servicios

Para obtener la priorización final de los bienes y/o servicios, a continuación se realizó la multiplicación de cada valor de nivel de influencia por la respectiva ponderación asignada a cada variable de análisis, con lo cual se obtiene la columna del puntaje total de cada bien y/o servicio evaluado. En la Tabla 4 se presentan los resultados de esta matriz de priorización.

Tabla 4. Priorización final de bienes y/o servicios

Bienes y/o Servicios	Variable						Total
	Volumen de compra	Rotación	Cobertura interna de uso	Aporte a las condiciones de cambio climático	Impacto ambiental, social o reputacional	Capacidad de respuesta del mercado	
Ponderación	15%	15%	20%	30%	15%	5%	100%
Levantamiento topográfico y estudios de suelos	0,30	0,30	0,40	0,30	0,30	0,10	1,70
Cartuchos tóner para impresoras	0,45	0,45	0,60	0,60	0,30	0,10	2,50
Transporte terrestre de personal técnico y equipos	0,30	0,45	0,20	0,90	0,30	0,10	2,25
Productos para aseo/limpieza	0,15	0,30	0,60	0,60	0,45	0,05	2,15
Mtto sistema A.A.	0,45	0,30	0,60	0,90	0,45	0,10	2,80
Instalación y/o mtto sistema iluminación	0,30	0,45	0,60	0,60	0,30	0,05	2,30
EPP's	0,45	0,30	0,20	0,30	0,45	0,10	1,80
Portátiles ASUS	0,30	0,30	0,60	0,30	0,30	0,15	1,95
Compra y mtto sillas Enjoy	0,30	0,15	0,60	0,30	0,30	0,10	1,75
Celulares AVANTEL ref. I365IS intrínsecamente seguros	0,30	0,30	0,40	0,60	0,30	0,05	1,95

Los resultados de la priorización de la Tabla 4 indican que el servicio de mantenimiento del sistema de aire acondicionado en las oficinas de IEB presenta la más alta calificación respecto a los demás bienes y/o servicios evaluados, considerando las variables de selección y niveles de ponderación definidos en la Tabla 2 y en la Tabla 3, respectivamente. Por lo tanto, el servicio “*Mantenimiento del sistema de aire acondicionado*” será el bien y/o servicio al cual se realizará el Perfil Técnico Ambiental y le serán definidos los criterios de compra sostenible.

CAPÍTULO 3

PERFIL TÉCNICO AMBIENTAL DEL SERVICIO SELECCIONADO

3.1 INFORMACIÓN GENERAL DEL PRODUCTO Y EL MERCADO

El concepto de aire acondicionado está relacionado con el sistema de refrigeración del aire que se utiliza a nivel doméstico, comercial, industrial y en general en oficinas o recintos cerrados, para refrescar los ambientes de forma permanente cuando las temperaturas son muy altas. A pesar de ser un aparato de gran utilidad para el confort diario, se ha encontrado que estos sistemas presentan efectos adversos tanto en la salud de las personas como en el ambiente, en particular por los compuestos que se utilizan en su funcionamiento y en los residuos generados durante su operación y mantenimiento [15], además del alto daño ocasionado al ambiente por la alteración de la humedad y temperatura y sus efectos sobre la capa de ozono y el calentamiento global [7].

3.1.1 Principio de operación de los aires acondicionados

En términos generales, los sistemas de aire acondicionado utilizan en su funcionamiento el llamado ciclo de refrigeración, en el cual circula un compuesto refrigerante cuya función es la de reducir o mantener la temperatura de un determinado ambiente por debajo de la temperatura del entorno [22]. En el ciclo de refrigeración simple de compresión mecánica, el refrigerante comienza en un estado o condición inicial, circula

por una serie de cuatro procesos fundamentales según una secuencia definida y retorna a su condición inicial. De acuerdo con la Figura 1, los procesos del ciclo de refrigeración se señalan a continuación [6], [14].

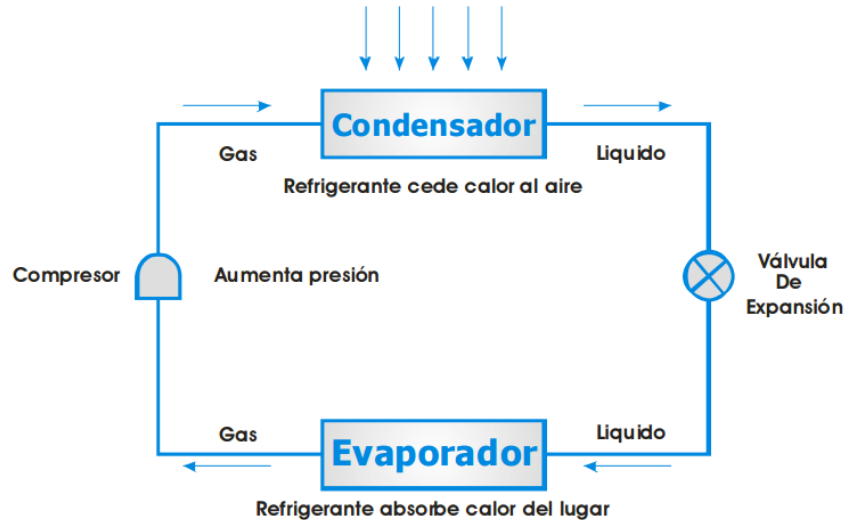


Figura 1. Ciclo de refrigeración en los sistemas de aire acondicionado. Fuente: Cómo funciona el aire acondicionado [6]

- 1) **Expansión:** Inicialmente, el refrigerante se encuentra en estado líquido en la unidad exterior a alta presión. Para conducirlo a la unidad interior y conseguir el efecto de refrigeración, se envía a través de un elemento de expansión, por medio de la reducción de la presión y la temperatura del líquido, dejándolo con las condiciones óptimas para la operación.
- 2) **Evaporación:** En esta etapa del proceso, el líquido se evapora, cediendo frío al aire del espacio a climatizar, generalmente impulsado por un ventilador. Todo el refrigerante se evapora en el evaporador y como resultado se obtiene gas.

- 3) **Compresión:** El gas vuelve a la unidad exterior para convertir el refrigerante de nuevo en líquido. Esta operación se efectúa en el compresor, del cual se obtiene gas a alta presión.
- 4) **Condensación:** El vapor a alta presión circula a través del condensador. Se evacúa el calor al exterior y se obtiene de nuevo el refrigerante en estado líquido. El ciclo se reinicia con la etapa de expansión.

3.1.2 Refrigerantes: Clasificación

Los refrigerantes son todos aquellos fluidos que se utilizan para transmitir el calor en un sistema frigorífico, que absorben calor a bajas temperaturas y presiones, y lo ceden a temperaturas y presiones más elevadas, generalmente con cambios de estado del fluido [22]. Existen diferentes criterios para clasificar los refrigerantes. En general se habla de refrigerantes según su función o de acuerdo con el grado de seguridad, teniendo en cuenta su toxicidad, reactividad y límites de explosión [15].

De acuerdo con su función, los refrigerantes se pueden clasificar en primarios y secundarios. Los primarios son aquellos que absorben calor al evaporarse a baja temperatura y lo ceden al condensarse a altas temperatura y presión, mientras que los secundarios, son aquellos que son enfriados por otro refrigerante y circulan como fluidos que transportan el calor. Por ejemplo, las salmueras son refrigerantes secundarios, porque constituyen un sistema indirecto cerrado que transfiere el efecto frigorífico desde un

sistema primario de refrigeración. Se consideran seguras, de baja toxicidad, fáciles de transportar y de poco mantenimiento.

Asimismo, el grado de seguridad define tres grupos de refrigerantes (ver Tabla 5). El primer grupo incluye refrigerantes no combustibles, con efectos despreciables sobre la salud. El grupo segundo comprende los refrigerantes tóxicos o corrosivos o que al combinarse con el aire, en una porción del 3,5% o más en volumen, pueden formar una mezcla combustible o explosiva. Finalmente, en el tercer grupo se incluyen los refrigerantes que al combinarse con el aire en proporción inferior al 3,5% en volumen, pueden constituir una mezcla combustible o explosiva de menor impacto.

Tabla 5. Refrigerantes según grado de seguridad. Fuente: [23]

Grupo Primero	Grupo Segundo	Grupo Tercero
R11 Triclorofluorometano	R30 Cloruro de metileno	R170 Etano
R12 Diclorodifluorometano	R60 Cloruro de etilo	R290 Propano
R22 Clorodifluorometano	R764 Anhídrido sulfuroso	R600 Butano
R13 Trifluoruro de carbono	R717 Amoníaco	R1150 Etileno

Finalmente, por su toxicidad (concentración y tiempo de exposición), los refrigerantes se clasifican en tres grupos. En el primer grupo se incluyen aquellos refrigerantes cuyo valor límite umbral de concentración no puede superar las 8 h/día de una jornada laboral sin sufrir efectos adversos; en el segundo grupo, el valor límite umbral de concentración solo es admitido durante 15 minutos, mientras que en el tercero, existe un umbral límite de concentración instantánea que no puede ser superada.

3.1.3 Visión ecológica de los refrigerantes

Actualmente, la valoración de gases refrigerantes respecto a sus efectos sobre el ambiente se hace en función de dos valores conocidos como el Potencial de Destrucción de Ozono (ODP) y el Coeficiente de Calentamiento Global de la atmósfera (GWP). El primer coeficiente indica el poder que tienen los freones de degradar el ozono, estableciéndose como unidad de medida la del R11 con el valor de la unidad. Por su parte, el GWP da una medida de la capacidad de una sustancia para contribuir al calentamiento global mediante el conocido efecto invernadero. Este índice se calcula sobre un intervalo de tiempo específico, normalmente de 20, 100 o 500 años, tomando como referencia la capacidad del CO₂, al que se asigna por convenio un valor GWP de 1. Por ejemplo, el GWP del metano, a 20 años, es de 72, lo cual significa que si la misma masa de CH₄ y de CO₂ es introducida en la atmósfera, el metano atrapa 72 veces más de calor que el dióxido de carbono durante los próximos 20 años [20].

En este sentido, los refrigerantes CFC que contienen cloro, flúor y carbono, como el R11, R12 y R115, han sido usados ampliamente desde 1930 en muchas aplicaciones, incluyendo refrigeración doméstica y comercial, almacenamiento frío, transporte y aire acondicionado de autos. Debido a que no contienen hidrógeno, los CFC son muy estables químicamente, presentan bajo nivel de toxicidad y no flamabilidad. Sin embargo, cuando el gas CFC es libertado a la atmósfera, la acción de la radiación UV descompone la molécula, liberando cloro. El cloro es una molécula ligera que asciende hasta la altura de la capa de ozono y allí se comporta como la radiación UV descomponiendo las moléculas de ozono. Un solo átomo de cloro puede descomponer 10.000 moléculas de ozono, situación

que resulta aún más crítica si se tiene en cuenta la alta persistencia en la atmósfera del CFC y su condición de gas de efecto invernadero, lo cual se traduce en aumento de la temperatura media de la Tierra [6], [9], [21]. Los refrigerantes CFC están siendo eliminados a nivel mundial bajo las directrices del Protocolo de Montreal, por lo que hoy en día son mucho más costosos y su disponibilidad es reducida [21].

Por su parte, los refrigerantes HCFC contienen hidrógeno, cloro, flúor y carbono, siendo el R22, R123 y R124 los más comunes en este grupo y que están vigentes actualmente. Los HCFC tienen baja persistencia, causando menor daño a la capa de ozono respecto a los CFC [25], pero sin ser completamente inocuos. Por este motivo, se clasifican como sustancias de transición y deben empezar a ser sustituidas a partir de 2016 [9]. Aunque en países en desarrollo está permitido su uso hasta el año 2040 [25], el Protocolo de Montreal prevé su eliminación para el año 2030 [16]. Por ejemplo, el R22 ha tenido una gran presencia en el mercado del acondicionamiento de aire, pero este refrigerante dejó de utilizarse en la Comunidad Europea en el año 2000 y en los Estados Unidos en el 2010 [25].

Finalmente, los refrigerantes R134A, R32, R125 y R143A son los más comunes dentro del grupo de los HFC, los cuales son usados en gran escala desde 1990 en la refrigeración doméstica, refrigeración comercial, almacenamiento frío y aire acondicionado automotor. A diferencia de los CFC y HCFC, no contienen cloro, por lo cual no dañan la capa de ozono. Sin embargo, debido a la presencia de flúor y alta persistencia ambiental, se comportan como gases de efecto invernadero contribuyendo al calentamiento

global. Según esto, por lo general los HFC tiene un ODP de cero y un índice GWP bastante elevado. Los HFC, aunque representan una fracción pequeña de todos los gases de efecto invernadero, están creciendo rápidamente en la atmósfera. Su emisión podría aumentar en casi veinte veces en las próximas tres décadas si no se toman medidas para reducir su consumo. En comparación con las instalaciones que trabajan con CFC, las instalaciones de refrigerantes del tipo HFC necesitan de un 5% a un 30% menos de refrigerante para lograr las mismas condiciones de trabajo. Al estar constituidos por moléculas mucho más pequeñas respecto de los refrigerantes antiguos, las probabilidades de fuga son mucho mayores. Esta característica hace que se deban aumentar las medidas para asegurar la hermeticidad de un sistema de refrigeración o de aire acondicionado [12], [25].

Basados en lo anterior, para la selección de sustitutos de refrigerantes, se debe relativizar la importancia del GWP. El sustituto puede tener un GWP mayor pero ser necesario en menor cantidad o permanecer activo en la atmósfera por menos tiempo. En la Tabla 6 se presentan algunos refrigerantes utilizados actualmente, sus posibles futuros sustitutos y los valores de ODP y GWP.

Tabla 6. Refrigerantes actuales y futuros sustitutos y valores de ODP y GWP. Fuente: [12]

Refrigerante actual	ODP	GWP	Refrigerante futuro	ODP	GWP
R11 (CFC)	1.00	1.00	R123	0.02	0.20
			R141	0.10	0.097
R12 (CFC)	1.00	3.00	R134a	0.00	0.29
			R142b	0.059	0.39
			R401b	0.03	0.02
R113 (CFC)	0.89	1.40	R123	0.02	0.20
			R141b	0.10	0.097
R22 (HCFC)	0.05	0.35	R134a	0.00	0.29
			R407a	0.00	0.45
R500 (HCFC)	0.74	2.20	R401a	0.03	0.22
R503 (HCFC)	0.30	3.50	R23	0.00	0.60

Sumado a las emisiones a la atmósfera por fugas o mal uso de los gases refrigerantes, un mal funcionamiento de los aires acondicionados, también origina efectos adversos al ambiente y sobre la salud de las personas; por lo tanto, la aplicación de un adecuado mantenimiento de estos sistemas debe ser una estrategia conducente a la eficiencia energética y al funcionamiento continuo, garantizando en todo momento las mejores prácticas ambientales, la reducción de costos, la confiabilidad en la operación y la prolongación de la vida útil de los elementos del sistema de aire acondicionado, entre otros, con el fin de garantizar la sustentabilidad de la empresa.

3.1.4 Cumplimiento de la legislación ambiental

El Protocolo de Montreal fija plazos máximos para la eliminación de la producción y el consumo de las principales sustancias agotadoras de la capa de ozono – SAO. Colombia no es ajena a este objetivo y ha reducido un poco más del 50% de su línea base de refrigerantes CFC desde diciembre de 2002 [16]. En Colombia, las SAO son

importadas, siendo el sector de refrigeración el de mayor consumo, tanto en la fabricación como en el mantenimiento. Desde 1989 el país tiene prohibida la utilización de aerosoles comerciales con base en CFC y desde 1997 se prohibió la fabricación e importación de refrigeradores domésticos con CFC [21].

Colombia empezó a hacer parte del Protocolo de Montreal a partir de la expedición de la Ley 29 de 1992. Para la implementación de este Protocolo, Colombia preparó su Programa País durante los años 1992, 1993 y 1994 con el liderazgo de la industria, lo que garantizó su compromiso en el posterior alcance de las metas establecidas.

Por medio de la Unidad Técnica Ozono –UTO–, adscrita al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se busca aplicar adecuadamente el Protocolo de Montreal en Colombia, en coordinación con las autoridades competentes, la industria y los consumidores, en el marco de la política ambiental. Ante el compromiso de la eliminación gradual del consumo de las SAO, se ha preparado el Plan Nacional de Eliminación de estas sustancias de una forma viable ambiental y económicamente, enfocándose en algunos sectores económicos como el servicio de mantenimiento en refrigeración y aire acondicionado [20], [21].

3.1.5 Tipo de sistema de aire acondicionado en IEB

Entre los diferentes sistemas de acondicionamiento de aire disponibles en el mercado, en el edificio Centro Empresarial Puerto Seco, y en particular en las oficinas principales de Ingeniería Especializada S.A., se cuenta con equipos acondicionadores tipo

Fan-Coil y Mini-Split. El refrigerante R422D se encuentra confinado dentro de un sistema hermético (ver Figura 3) alrededor del cual recirculan agua y aire calientes, este último captado por un sistema de rejillas mostradas en la Figura 3. La emisión de aire tratado se realiza a través de difusores de techo, distribuidos cada 6-8 m para una mejor distribución del aire tal como se muestra en la Figura 3. Se tienen los siguientes equipos:

- 1) Ocho (8) equipos Fan-Coil, modelo VCF1 170WABACA, cuyas características principales son:
 - **Flujo de aire:** 1.676 m³/h
 - **Voltaje:** 220 V, 60 Hz
 - **Enfriamiento:** 8,83 kW
 - **Flujo de agua:** 1,55 m³/h
 - **Caída de presión de agua:** 25,83 kPa
 - **Número de motores:** 2 (Y5K-35W-4(BA52), SLBIP20, 0.37 A)
 - **Potencia de entrada:** 178 W
 - **Tubería entrada y salida:** ¾”
 - **Nivel sonoro:** 44 dBA
 - **Presión de trabajo:** 18 kg/cm²

- 2) Dos (2) equipos Mini-Split CIAC de CARRIER, cuyas características de placa son:
 - **Capacidad:** 9.000 Btu/h
 - **Refrigerante:** R-22 (el cual fue reemplazado por R422D)
 - **Amperaje de Placa:** 4.4 A

- 3) Dos (2) unidades manejadoras, cuyas características de placa son:
 - **Marca:** TECAM
 - **Modelo:** 2CDW60
 - **Capacidad:** 60.000 Btu/h
 - **Refrigerante:** Agua fría
 - **Motor:** ¾ hp, 1075 rpm, 220 V

- **Amperaje de Placa: 4.5A**



Figura 2. Sistema hermético de almacenamiento del gas refrigerante R422D. Fuente: Autoría propia



(a)



(b)

Figura 3. Sistema de colectores de aire a tratar (a) y difusores de techo de aire tratado a baja temperatura (b). Fuente: Autoría propia

Como parte del equipo de refrigeración, se tiene un sistema de filtros, los cuales capturan las partículas de suciedad existente en el aire antes de ingresar al sistema de aire acondicionado. Por ejemplo, en la Figura 4 se presenta el sistema de filtros saturado con

suciedad (polvo, cabello), el cual es limpiado con agua a presión y jabón, y reinstalado en una de las entradas colectoras de aire caliente, previo al serpentín (Figura 4c).

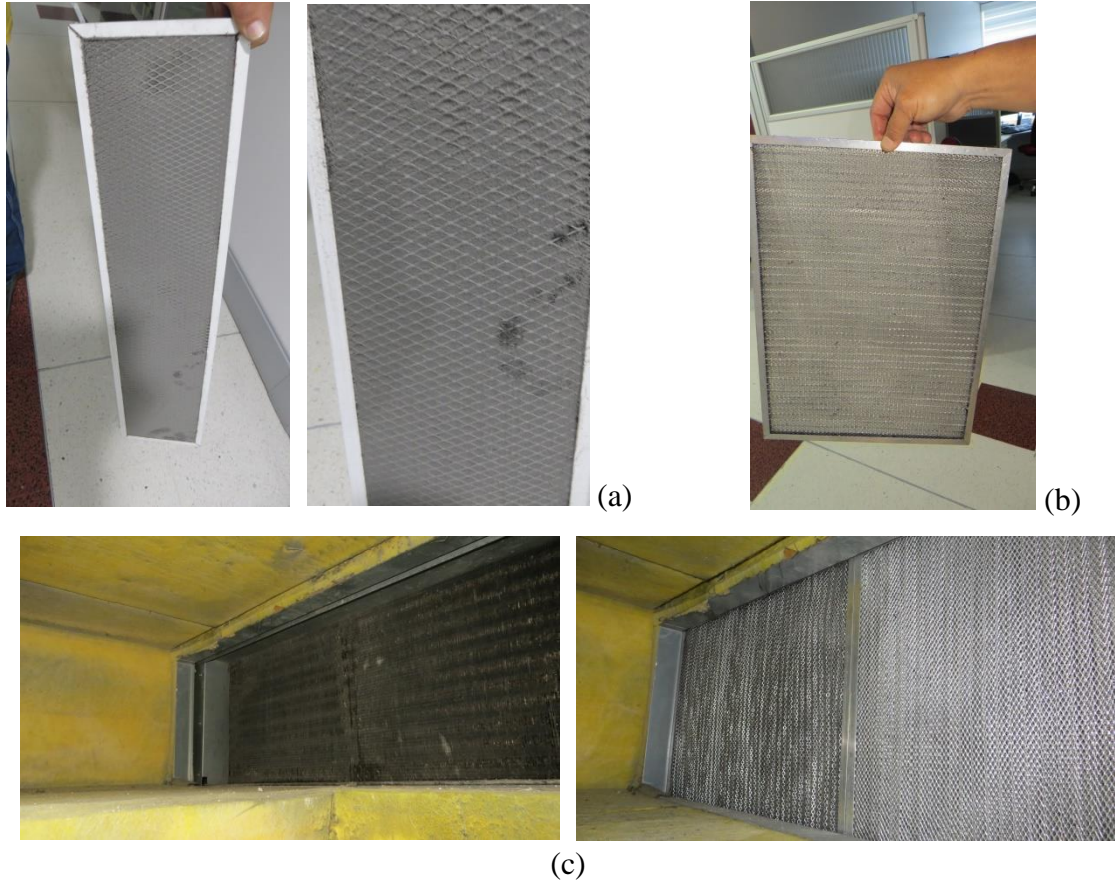


Figura 4. Sistema de filtros saturados con suciedad del ambiente (a), y después de ser limpiados (b) e reinstalados a la entrada de los colectores (c). Fuente: Autoría propia

Finalmente, en la **Figura 5b** se muestra el sistema de control de temperatura, tanto para el usuario que está fijado en la pared, como aquel ubicado adyacente del sistema hermético del refrigerante de donde se controla el ingreso de una cantidad mayor o menor de refrigerante, según sea requiera disminuir o aumentar la temperatura del ambiente (**Figura 5a**). El control del sistema es individual por equipo y se realiza de acuerdo con las condiciones de confort de cada espacio en particular (área directiva, diseño, dibujo,

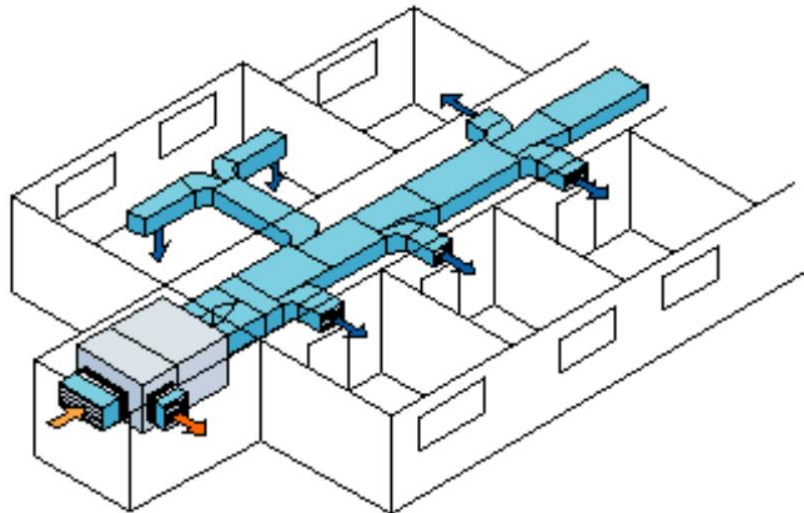
sistemas, etc.). Los equipos están ubicados en un falso techo, con modelos de instalación horizontal, tal como se muestra en la Figura 5c.



(a)



(b)



(c)

Figura 5. Sistema de control de temperatura (a), (b) y sistema de distribución tipo compacto individual de instalación horizontal. Fuente: (a), (b) Autoría propia; (c) Guía de reconversión para el refrigerante DuPont ISCEON M029 (R422D) [5]

Las actividades generales del proceso de mantenimiento del aire acondicionado son:

- a. Verificación del rendimiento del sistema de refrigeración, la disminución de la temperatura y determinación de la necesidad de ajustes.
- b. Limpieza del serpentín del evaporador y eliminación de desechos de la unidad. Para esta actividad, se requiere el uso de agua y/o aire a presión y telas no abrasivas ni que dejen motas.
- c. Inspección del funcionamiento del motor - ventilador del evaporador y lubricación si fuera necesario. Para esta actividad, se utilizan telas no abrasivas y aceites de lubricación.
- d. Verificación del amperaje y voltaje del compresor para llevar un registro de posibles variaciones con respecto a la placa de características técnicas. Incluye inspección y ajuste de las conexiones eléctricas. Se emplean herramientas eléctricas como multímetros, destornilladores, alicates y elementos de registro de datos (libreta, lapicero).
- e. Inspección de los condensadores y relés de encendido/marcha.
- f. Inspección de posibles fugas de refrigerante. Para esta actividad se utilizan manómetros, y elementos de protección personal como mascarillas, gafas anti salpicaduras y guantes.**
- g. Limpieza del serpentín y de sistema de drenaje para evitar fugas de agua. En esta actividad se utilizan cepillos, aire a presión y una bomba de extracción.

- h. Evaluación de la condición de los filtros de aire y otros accesorios interiores de calidad del aire. Proceder con el cambio si lo requieren. Además de los equipos de protección de nariz, garganta y ojos, se utilizan compresores de aire y/o agua y en ocasiones jabón, de preferencia con poca generación de espuma.
- i. Calibración del termostato (sistema de control de temperatura) y confirmación de un funcionamiento adecuado.

3.2 ALCANCE

Con este perfil técnico ambiental se busca identificar los aspectos ambientales del proceso de mantenimiento del sistema de aire acondicionado actualmente en operación en IEB y, en particular, de las diferentes etapas del ciclo de vida del refrigerante empleado en su funcionamiento, para lo cual se considerarán las etapas de obtención de materias primas, transporte, uso y disposición final del refrigerante.

De acuerdo con los registros del área de Infraestructura y Compras, el refrigerante utilizado en el sistema de aire acondicionado en IEB corresponde al gas R422D, el cual fue sustituto del gas R22 del tipo HCFC.

3.3 INVENTARIO DEL SISTEMA ANALIZADO

3.3.1 Componentes

Los refrigerantes son compuestos químicos, fácilmente licuables, cuyos cambios de estado se utilizan como fuentes productoras de frío. En particular, el gas R422D (HCFC) es una mezcla formada por R125, R134a y R600 en los porcentajes de peso indicados en la Tabla 7 [12], siendo uno de los sustitutos del gas R22 (HCFC), en equipos de aire acondicionado de uso residencial y comercial [5].

Tabla 7. Composición del refrigerantes R422D. Fuente: [12]

Refrigerante actual	%Peso
R125 (Pentafluoroetano)	65,1
R134a (1-1-1-2-Tetrafluoroetano)	31,5
R600 (Isobutano)	3,4

El gas R422D tiene un potencial de reducción de ozono (ODP) de 0.0, por lo que no tiene efectos sobre la capa de ozono. De igual manera, el gas R422D tiene un GWP de 2729 (para 100 años) de acuerdo con el IPPCC-AR4/CIE (Cuarto Informe de Evaluación de Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático). Este refrigerante presenta una pureza del 99,5% [5].

3.3.2 Transporte

El refrigerante R22D no es inflamable en el aire en condiciones normales de temperatura y presión. La descomposición térmica desprende vapores muy tóxicos y

corrosivos (fluoruro de hidrógeno). El transporte y manipulación de estos gases solo debe ser realizado por personal experimentado y adecuadamente formado, garantizando en todo momento el cumplimiento del Límite de Exposición Ocupacional para este tipo de compuestos [5], el cual es de 1000 ppm por persona durante 8 horas diarias y 5 días a la semana [18].

Debe asegurarse una adecuada ventilación durante su manufactura y transporte, en especial cuando los envases se transporten en lugares muy confinados y de poca altura. Además, no se debe permitir una temperatura de almacenamiento superior a los 50°C. Las personas que manipulan los envases deben usar elementos de protección personal como gafas de seguridad con protección lateral para evitar salpicaduras a los ojos, guantes impermeables de carnaza, ropa de manga larga, casco (si el área lo requiere) y calzado cubierto [8]. El transporte debe hacerse con los envases/cilindros en posición vertical, las válvulas deben contar con protectores (capuchones) alejando cualquier fuente de ignición como cigarrillos o fricciones que puedan producir calor [5].

3.3.3 Utilización

El R422D debe transferirse siempre en fase líquida desde la botella al sistema de refrigeración, con una temperatura de descarga inferior a la del R22, con lo cual se alarga la vida útil del aceite y del compresor. Debe tenerse presente que dicha transferencia puede ocasionar la generación de electricidad estática, por lo que se debe asegurar la existencia de una conexión de puesta a tierra adecuada de los equipos cuando se realice este procedimiento [10].

El gas R422D tiene deslizamiento, lo cual indica que en caso de fuga en estado gaseoso no es posible determinar cuál de los gases que componen esta mezcla se ha separado en mayor proporción. Sin embargo, si la fuga dentro del sistema de aire acondicionado es en estado líquido, se considera que se escapan todos a la atmósfera en la misma proporción [18].

Como sustituto del R22, el gas R422D no requiere de cambio de dimensiones de tuberías del sistema de refrigeración y el consumo eléctrico es menor comparado con el gas R22, lo cual reduce los costos operativos del equipo [18].

Finalmente, durante su manipulación y uso se debe evitar el contacto directo (ojos, piel) con el líquido ya que puede provocar quemaduras por congelaciones; en concentraciones atmosféricas altas pueden producir efectos anestésicos, incluyendo la pérdida de conciencia, o llevar a la asfixia y arritmia cardíaca [17], [18].

3.3.4 Disposición final

Como consecuencia de la implementación de los diferentes programas y proyectos promovidos y financiados por el Protocolo de Montreal, orientados a la disminución y eliminación del consumo de las SAO, la reconversión voluntaria a tecnologías libres de estas sustancia por parte de grandes empresas y los controles realizados para la importación y el comercio de las SAO, se han presentado existencias de residuos de estas sustancias y equipos que las contienen que requieren una disposición final [16], [20].

De acuerdo con la Guía 3-1990 de la ASHRAE [1], para la disposición final de los refrigerantes, se han desarrollado tecnologías para la recuperación, el reciclaje, la regeneración o la destrucción de estos compuestos, con beneficios ambientales como la generación de árboles virtuales o la mitigación de la huella de carbono. Con una adecuada disposición final se favorece el cierre de la capa de ozono y la reducción de gases de efecto invernadero.

En general, la recuperación consiste en remover el gas refrigerante del sistema, en cualquier condición, y almacenarlo en un contenedor externo, sin analizarlo ni procesarlo. En el reciclaje se limpia el gas refrigerante para volver a utilizarlo, retirándole el aceite o haciéndolo pasar por filtros deshidratadores que reducen la humedad, la acidez y la presencia de sólidos. Durante la regeneración, se reprocessa el refrigerante hasta que alcance las especificaciones de un gas nuevo, aplicando técnicas de destilación y análisis químico. Finalmente, cuando el refrigerante recuperado del aire acondicionado está contaminado o mezclado con otros refrigerantes, la mejor opción es enviarlo a un proceso de disposición final y destrucción, generalmente en otros países como Estados Unidos. Actualmente, existen muchas tecnologías para la destrucción de refrigerantes CFCs y HCFCs, las cuales han sido evaluadas y aprobadas por el Panel de Evaluación Técnica y Económica (TEAP, por sus siglas en inglés) del Protocolo de Montreal. Entre estas tecnologías se encuentran: hornos de cemento, incineración por inyección líquida, arco de plasma de argón u oxidación de gases, todas ellas con el objetivo de la descomposición del refrigerante en gases inertes que no afectan el ambiente [17], [19].

CAPÍTULO 4

ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES

Como se ha mencionado, los refrigerantes en los sistema de acondicionamiento de aire, son sustancias susceptibles de provocar daños al ambiente (efecto invernadero y agotamiento de la capa de ozono), por lo que al momento de realizar las actividades de montaje y mantenimiento de estos equipos, se debe cumplir un protocolo de actuación conducente a atenuar al máximo los efectos de estos compuestos en el ambiente.

Dentro del proceso de mantenimiento del sistema de aire acondicionado presente en IEB S.A., se han identificado los siguientes aspectos ambientales (Tabla 8).

Tabla 8. Identificación de aspectos e impactos ambientales durante el proceso de mantenimiento de sistema de aire acondicionado en IEB. Fuente: Autoría propia

Aspecto Ambiental	Descripción AA	Periodicidad	Impacto Ambiental	Legislación aplicable
Generación de emisiones atmosféricas (fuentes fijas)	Fuga del gas refrigerante R422D	Recarga por baja presión	Contaminación del aire Afectación de vías respiratorias y ojos Agotamiento capa de ozono	Ley 29/1992 Res. 1652/2007
Consumo de energía eléctrica	Alto consumo de energía por operación continua durante 16 horas de servicio en promedio	Normal continua	Cambio climático	Ley 697/2001 Dec. 3450/2008 Dec. 2501/2007 Res. 18 0606/2008

Aspecto Ambiental	Descripción AA	Periodicidad	Impacto Ambiental	Legislación aplicable
Consumo de agua	Corresponde al agua utilizada durante el ciclo de refrigeración	Normal continua	Agotamiento de un recurso natural Fugas del sistema de drenaje	Dec. 4741/2005 Dec. 3930/2010 Res. 1188/2003
Generación de residuos no aprovechables	Residuos del lavado y secado de filtros y serpentines	Normal, según cada jornada de mantenimiento	Contaminación del suelo, aire y agua	Dec. 4741/2005 Dec. 459/2000 Dec. 1443/2004 Ley 1672/2013
Generación de residuos no aprovechables	Residuos del limpieza de equipos de protección personal (mascarillas, gafas anti salpicaduras)	Normal, según cada jornada de mantenimiento	Contaminación del suelo, aire y agua	Dec. 4741/2005 Dec. 459/2000 Dec. 1443/2004 Ley 1672/2013 Ley 55/1993
Generación de residuos no aprovechables	Residuos peligrosos por finalización de la vida útil de equipo electromecánico (bombas, controladores, ductos PVC, compresores, recubrimientos en plástico y espumas, filtros, etc.)	Ocasional, según vida útil de elementos	Contaminación del suelo y depósitos de agua (por disposición final en relleno sanitario) y del aire (por incineración de elementos como plásticos y espumas)	Dec. 2811/1974 Ley 1672/2013 Res. 1754/2011 Ley 1252/2008 Res. 1297/2010
Generación de residuos peligrosos	Equipos y herramientas impregnados de sustancias químicas (refrigerante). Limpieza y/o desecho de los mismos	Ocasional, según tasa de cambio del refrigerante	Contaminación del suelo, aire y agua. Afectación de ojos, vías respiratorias de personal técnico	Dec. 4741/2005 Dec. 459/2000 Dec. 1443/2004 Ley 1672/2013 Ley 55/1993
Generación de residuos peligrosos	Residuos líquidos y sólidos por lubricación de equipos (aceites, cepillos y telas)	Presente en cada fase de mantenimiento	Contaminación del suelo y agua	Dec. 4741/2005 Dec. 459/2000 Dec. 1443/2004 Ley 1672/2013 Ley 55/1993
Generación de residuos no aprovechables	Residuos de polvo y suciedad	Normal	Contaminación del suelo y aire	Dec. 2811/1974

Aspecto Ambiental	Descripción AA	Periodicidad	Impacto Ambiental	Legislación aplicable
Generación de residuos peligrosos	Residuos de baterías de equipos de medida, tornillos, metal, caucho, plástico de mangueras	Normal	Contaminación del suelo y agua	Dec. 4741/2005 Ley 1252/2008 Res. 1362/2007 Ley 1672/2013
Contaminación cruzada	Fallas en el procedimiento normalizado durante el cambio de un refrigerante por otro	Ocasional (solo se ha realizado un recambio)	Contaminación del aire, suelo, agua y equipos del sistema de A.A.	Ley 29/1992 Res. 1652/2007
Escape de gas refrigerante	Fallas en sistema hermético de almacenamiento (válvulas, pipeta) o del equipo utilizado para la recuperación del refrigerante	Cambio del refrigerante y limpieza general del sistema de refrigeración	Afectación vías respiratorias de personal técnico y empleados de IEB	Ley 29/1992 Res. 1652/2007
Generación de ruido	Ruido originado por extracción de agua por las bombas, compresores de aire y agua	Presente en fases específicas del mantenimiento	Afectación del sistema auditivo de personal técnico y empleados de IEB	Res. 0627/2007 Res. 8321/1983

CAPÍTULO 5

CRITERIOS AMBIENTALES

Una vez identificados los aspectos e impactos ambientales del proceso, a continuación se indican algunos criterios ambientales a ser considerados para la selección del prestador del servicio de mantenimiento del sistema de aire acondicionado en IEB.

Tabla 9. Criterios ambientales para la adquisición de servicios de mantenimiento de aire acondicionado en IEB. Fuente. Autoría propia.

Plazo de Implementación	Criterio Ambiental	Medio de Verificación
Inmediato/Corto	Compromiso del prestador del servicio por seguir la política de sostenibilidad de IEB	Declaración oficial del oferente de la cultura de responsabilidad con el ambiente y el cumplir con lo estipulado en la política sostenible de IEB, incluyendo, por ejemplo, la mejora continua en el proceso de mantenimiento, requisitos legales y de seguridad y salud en el trabajo y ambiente, y cero accidentes laborales (certificados ISO en HSEQ vigentes al momento de presentación de la propuesta)
Inmediato/Corto	Uso de equipos y herramientas calificados para cada etapa del mantenimiento	Certificados de calibración de equipos de medida. Inspección por parte de IEB del uso adecuado de equipos y herramientas durante las actividades de mantenimiento.

Plazo de Implementación	Criterio Ambiental	Medio de Verificación
Inmediato/Corto	Suministro de insumos y materiales biodegradables post-uso y/o con un ciclo de vida que permita su reciclaje, reuso o reducción dentro del ciclo de refrigeración.	Formularios de compras sostenibles y proveedores propios del oferente. Sellos ambientales de biodegradabilidad de los materiales y/o insumos suministrados a IEB. Formatos del proveedor donde se especifique la reducción, reutilización o reciclaje de materiales e insumos.
Inmediato/Corto	Óptimas condiciones operativas de manómetros, válvulas, cilindros y equipo recuperador del refrigerante R422D, considerando la normatividad vigente aplicable.	Certificados de calibración e inspección de equipo recuperador y demás accesorios.
Inmediato/Corto	Compromiso de aplicación de las mejores prácticas de mantenimiento preventivo y correctivo en el aire acondicionado, en especial del procedimiento de recuperación de refrigerantes.	Declaratoria oficial del contratista de este compromiso.
Inmediato/Corto	Personal técnico asignado al mantenimiento con las competencias para desarrollar esta labor.	Certificación de competencias laborales del personal técnico asignado.
Inmediato/Corto	Uso y mantenimiento de elementos de protección personal según la normatividad vigente, que garanticen el bienestar de los trabajadores durante la realización de las actividades de mantenimiento.	Registros de compra de EPP's avalados por fabricantes certificados en cada elemento particular (gafas anti-salpicaduras, mascarillas, protección auditiva, guantes)
Inmediato/Corto	Aseguramiento de la seguridad social (EPS, ARL) de los empleados.	Certificados vigentes de afiliación al sistema de seguridad social en salud y riesgos laborales de quienes ejecutarán las actividades de mantenimiento.

Plazo de Implementación	Criterio Ambiental	Medio de Verificación
Inmediato/Corto	Gestión de la disposición final de residuos sólidos no aprovechables y peligrosos, después del mantenimiento y al final de la vida útil del equipo y material.	<p>Declaratoria oficial del oferente sobre la gestión ambiental de los residuos generados (almacenamiento, transporte, tratamiento, disposición final, etc.).</p> <p>Presentación de contrato vigente con un gestor de residuos que garantice la correcta eliminación y/o reciclaje de los equipos, material y/o insumos sustituidos o eliminados del sistema de aire acondicionado.</p> <p>Registro actualizado de volumen y/o peso de sólidos entregados al gestor de residuos y resultado del proceso de eliminación y/o reciclaje.</p>
Inmediato/Corto	Gestión del refrigerante recuperado y de los residuos químicos generados durante el proceso de recuperación.	<p>Declaratoria oficial del oferente sobre el proceso de recuperación o reciclaje del refrigerante (almacenamiento, transporte, tratamiento, disposición final, etc.).</p> <p>Entrega de un formato donde se indiquen las medidas de seguridad para el control de la contaminación de ambientes de trabajo y la salud humana.</p>
Inmediato/Corto	Gestión de la disposición final de residuos líquidos no aprovechables y peligrosos, después del mantenimiento y final de la vida útil del insumo.	<p>Declaratoria oficial del oferente sobre la gestión ambiental de los residuos generados (almacenamiento, transporte, tratamiento, disposición final, etc.).</p> <p>Presentación de contrato vigente con un gestor de residuos que asegure la regeneración o destrucción final del refrigerante y otros líquidos generados (p.e. agua de recirculación).</p> <p>Registro vigente del volumen de refrigerante recuperado y entregado al gestor de residuos, con informe de disposición final del mismo (regeneración y/o destrucción).</p>

Plazo de Implementación	Criterio Ambiental	Medio de Verificación
Mediano	Equipos con alta eficiencia energética	Etiqueta de eficiencia energética clase A o C (mínimo) para el equipo de acondicionamiento de aire.
Mediano	Equipos con sistemas de seguridad eléctrica para operación y labores de mantenimiento.	Certificado o Sello de Seguridad eléctrica expedido por entidad competente (p.e. CIDET) y/o fabricante.
Mediano	Equipos con un bajo consumo de agua.	Certificación del equipo de uso eficiente de agua en el ciclo de refrigeración. Registros de consumos de agua del equipo a suministrar avalados por otros clientes del oferente.
Largo	Sostenibilidad ambiental de nuevas tecnologías en sistemas de acondicionamiento de aire.	Informe con las recomendaciones de cambio y/o actualización de equipos de aire acondicionado, en razón del incremento del espacio a refrigerar, número de personas, espacio físico disponible para la instalación y nuevas tecnologías en sistemas de refrigeración amigables con el ambiente.
Largo	Uso de refrigerantes que no originen agotamiento de la capa de ozono y gases de efecto invernadero	Propuesta de cambio de equipos y de refrigerante permitido por tratados internacionales vigentes (p.e. Protocolo de Montreal), con índices ODP y GWP con valor cero o lo más bajo posible.

CAPÍTULO 6


ECOETIQUETAS

Las eco-etiquetas (etiquetas ecológicas o sellos verdes) son símbolos otorgados a productos (bienes o servicios) que tienen un menor impacto sobre el ambiente debido a que cumplen una serie de criterios ecológicos durante su producción, por ejemplo, el análisis del ciclo de vida. Su principal característica es la impresión de un sello sobre el producto, que permite al consumidor diferenciarlo de otros similares en el mercado [3]. La creciente conciencia global de proteger el ambiente por parte de los gobiernos, las empresas y la comunidad en general, ha originado la reestructuración de los procesos productivos de bienes y servicios, así como la forma de presentar el producto en mercados internacionales y la atracción de consumidores que prefieren adquirir productos ambientalmente amigables y sanos, los cuales están dispuestos a pagar un sobreprecio por el bien deseado (en el caso de que el producto lo tenga). Con esta iniciativa, Alemania creó la primera eco-etiqueta en 1978, llamado el Ángel Azul (Blauer Engel).

En el caso de Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (citado por van Hoof, Monroy y Saer, 2008) define las eco-etiquetas como *”un distintivo que pueden portar los bienes o servicios que acatan ciertos criterios ambientales establecidos de antemano, y cuyo cumplimiento ha sido comprobado por una organización de tercera parte independiente e imparcial”* [24]. Fue así como en 2005, por iniciativa del Plan Estratégico Nacional de Mercados Verdes, se reglamentó el uso del Sello Ambiental

Colombiano cuyo objetivo es la promoción de productos que puedan reducir los efectos ambientales adversos, contribuyendo a un uso eficiente de los recursos naturales y la protección del ambiente. Según la naturaleza de un producto identificado con este logo, indica que hace uso sostenible de los recursos naturales que emplea; utiliza insumos y materias primas inocuos para el ambiente; emplea procesos de producción que involucran menos cantidades de energía o que hacen uso de fuentes de energía renovables, o ambas; considera aspectos de reciclabilidad, reutilización o biodegradabilidad; usa materiales de empaque, preferiblemente reciclable, reutilizable o biodegradable y en cantidades mínimas; emplea tecnologías limpias o que generan un menor impacto relativo sobre el ambiente; e indica a los consumidores la mejor forma para su disposición final [3], [24]. En la Tabla 10 se presentan algunas etiquetas ecológicas a nivel mundial y el Sello Ambiental Colombiano.

Tabla 10. Etiquetas ecológicas o sellos verdes internacionales y de Colombia

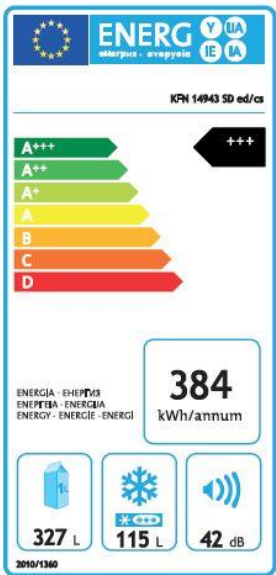
Ecoetiqueta	Descripción
	<p>Blaue Engel (Alemania): Certificación alemana para productos y servicios que consideran aspectos ambientales. (http://errees.com/gestion-ambiental/la-etiqueta-ecologica/)</p>
	<p>Unión Europea: Certifica que el alimento ha sido cultivado sin ningún tipo de productos químicos. (http://www.comunidadism.es/actualidad/el-nuevo-sello-europeo-de-agricultura-ecologica-ya-es-obligatorio)</p>

Ecoetiqueta	Descripción
 <p>The logo for AENOR Medio Ambiente features the word 'AENOR' in green capital letters at the top. Below it is a green circular emblem containing three concentric, semi-circular lines that resemble a stylized sun or a landscape horizon. At the bottom, the words 'Medio Ambiente' are written in green.</p>	<p>Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR): Marca de conformidad con normas UNE de criterios ecológicos, concebida para distinguir productos con una menor incidencia en el medio ambiente durante su ciclo de vida. (http://www.aenor.es/aenor/inicio/home/home.asp)</p>
 <p>The logo is circular with a green and white striped pattern. The words 'Nordic Environmental Label' are written in a curved path around the top inner edge of the circle.</p>	<p>Cisne Nórdico (Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega, Suecia): Criterios ecológicos basados en el ciclo de vida del producto, consumo de recursos naturales y energía, y emisiones al aire, agua y suelo. Aplicado a la industria papelera y de productos de limpieza, además de restaurantes y hoteles. (http://www.nordic-ecolabel.org/)</p>
 <p>The logo features a stylized green tree with a checkmark integrated into its trunk. Below the tree, the letters 'FSC' are written in a bold, green, sans-serif font. A registered trademark symbol (®) is located to the upper right of the tree.</p>	<p>Forest Stewardship Council (Consejo de Administración Forestal): Organismo internacional que certifica productos como madera, corcho o papel, procedentes de bosques gestionados de forma sustentable, respetando los derechos humanos. Está integrado por asociaciones ecologistas, silvicultores, industrias de la madera, organizaciones indígenas e instituciones de certificación. (http://www.es.fsc.org/)</p>
 <p>The logo shows a green bird in flight, positioned as if it is about to land on or take off from a circular path. Below the bird, the words 'SELLO AMBIENTAL COLOMBIANO' are written in green capital letters.</p>	<p>MADS: Se consolida la producción de productos ambientalmente sostenibles e incrementa la oferta de servicios competitivos. El uso voluntario del SAC puede ser una estrategia comercial y una ventaja competitiva para los prestadores de servicios y un valor agregado al producto para los consumidores. (https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/366-plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-19#etapas-del-sac)</p>

Aunque no se acostumbra solicitar una ecoetiqueta de manera injustificada en las contrataciones del sector público o privado, queda a criterio del comprador la inclusión o no de este requisito ambiental en las especificaciones técnicas de los bienes y/o servicios que está solicitando. En el caso particular de las empresas que prestan el servicio de mantenimiento de sistemas de aire acondicionado, en IEB se deberá considerar que los

equipos y herramientas utilizados en las diferentes etapas del proceso de mantenimiento cumplan con las eco-etiquetas señaladas en la Tabla 11, las cuales guardan relación con la eficiencia en el consumo de energía; estos mismos sellos verdes deberán ser certificados por nuevos equipos de acondicionamiento de aire que sean instalados en un futuro en las instalaciones de IEB.

Tabla 11. Eco-etiquetas solicitadas por IEB a los prestadores del servicio de mantenimiento de aire acondicionado

Ecoetiqueta	Descripción
 <p>ENERGIA - ΕΝΕΡΓΙΑ ENERPIA - ENERPIA ENERGY - ENERGIÉ - ENERGI</p> <p>327 L 115 L 42 dB</p> <p>2010/1360</p>	<p>Nombre del proveedor o marca e identificador del modelo. KFN 14943 SD ed/cs</p> <p>Clases energéticas. A+++</p> <p>Consumo de energía anual. 384 kWh/annum</p> <p>Pictogramas que destacan las características seleccionadas. 327 L, 115 L, 42 dB</p> <p>Etiqueta EFICIENCIA ENERGÉTICA (Unión Europea): De carácter obligatorio, informa mediante un código de letras y colores el consumo del aparato en relación al consumo medio de un aparato de similares características. Aporta información sobre: - Los niveles de eficiencia energética, desde la A a la G (de mayor a menor eficiencia). - Datos del fabricante, tipo de producto, modelo. Directiva Europea 2002/31/CE según Real Decreto 142/2003.)</p>

Ecoetiqueta	Descripción
<p>Consumo de energía del equipo</p> <p>Desempeño energético del equipo</p> <p>Energía</p> <p>1 Consumo de energía 18,5 kWh/mes Ahorro energético (A_e) 45 (%)</p> <p>El consumo de energía dependerá del lugar de instalación, modo de uso y mantenimiento del equipo.</p> <p>2 Refrigerador - Congelador Marca RECOCO Modelo NFMB03</p> <p>3 Compare este equipo con otros de similares características</p> <p>Menor consumo</p> <p>Gráfico de barras del desempeño energético</p> <p>Mayor consumo</p> <p>Denominación del equipo</p> <p>Características generales del equipo</p>	<p>Modelo de Etiqueta Energética en Colombia: Exigible a partir de 2017, con esta ecoetiqueta se pretende dar herramientas de decisión a los compradores de equipos que consumen energía eléctrica, como aires acondicionados, según sus necesidades de uso, menor consumo de energía y mejor eficiencia en el desempeño. (http://www.etiquetaenergetica.gov.co/)</p>

CONCLUSIONES

1. Los principales aspectos ambientales identificados en el mantenimiento de aires acondicionados involucran el alto consumo de recursos (agua, energía eléctrica), la generación de residuos sólidos no aprovechables y peligrosos, y la potencial emisión atmosférica por fugas del gas refrigerante. Todos ellos derivan en impactos ambientales, no solo en las oficinas de IEB sino en el ambiente externo en general. Dichos impactos están relacionados con la contaminación de aire, agua y/o suelo, afectación de la salud visual y respiratoria de empleados, y la capacidad del gas refrigerante utilizado para generar gases de efecto invernadero y/o para reducir la capa de ozono, en alguna fase de su ciclo de vida.
2. Los criterios ambientales establecidos (Capítulo 5) buscan reducir el aporte de los sistemas de aire acondicionado al cambio climático que afecta al planeta Tierra. Dichos criterios están relacionados, entre otros, con la gestión de la disposición final de insumos y materiales biodegradables; de los residuos líquidos y sólidos; uso de refrigerantes que no ocasionen agotamiento de la capa de ozono y gases de efecto invernadero; control de fugas y procedimientos óptimos de recuperación y disposición final de refrigerantes; y equipos con bajo consumo de agua y alta eficiencia energética.
3. La contratación del servicio de mantenimiento del sistema de aire acondicionado debe ser considerada una compra estratégica para la organización (IEB), tanto en función de

la optimización de costos como del nivel de desempeño ambiental de los equipos nuevos o existentes.

4. En el corto plazo, resulta necesario establecer criterios ambientales al proceso de compra de cartuchos tóner para impresoras, la instalación y mantenimiento de sistemas de iluminación y el transporte terrestre de personal técnico y equipos, servicios que también ocuparon los primeros lugares en la matriz de priorización.

RECOMENDACIONES

1. El área de Infraestructura y Compras de IEB deberá hacer una revisión y reestructuración del procedimiento general para la selección de la(s) empresa(s) que presta(n) el servicio de mantenimiento del sistema de aire acondicionado, incluyendo criterios técnicos, financieros y ambientales; en particular, estos últimos estarán enfocados en la salud y el bienestar de empleados, clientes y personal contratista de mantenimiento, y en la reducción de efectos adversos al ambiente, como el manejo de residuos peligrosos y el uso de insumos productores de gases de efecto invernadero o que causen el agotamiento de la capa de ozono. Por lo tanto, a partir de la evaluación de los oferentes según los Criterios Ambientales definidos en el Capítulo 5, se tendrán herramientas y/o elementos de juicio que permitirán hacer una selección objetiva y alineada con la Política de Sostenibilidad de IEB, por lo que dichos Criterios deberán ser articulados dentro del Sistema de Gestión Integrado.
2. Se recomienda que los Criterios Ambientales definidos sean también aplicados durante la selección del personal de mantenimiento del sistema de acondicionamiento de aire en las sedes nacionales de Bogotá, Barranquilla y Cartagena y, realizando los debidos ajustes según las normativas locales, en las sedes Lima (Perú) y Santiago de Chile (Chile).

3. Cuando se considere la compra de un nuevo sistema de aire acondicionado o la mejora de los existentes, se debe verificar la eficiencia energética de los equipos, con el fin de obtener ahorros significativos en costos operativos y de mantenimiento y, al mismo tiempo, combatir el cambio climático y la contaminación, a través de la reducción del calentamiento global, el uso de energía y de SAO.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] American Society of Heating, Refrigerating & Air Conditioning Engineers (ASHRAE). GUÍA 3:1990. *Reducción del desprendimiento de refrigerantes de clorofluorocarbono (CFC) totalmente halogenados en equipos y aplicaciones de refrigeración y acondicionamiento de aire.*
- [2] Bohórquez, S., Chaverra, Y. y Vanegas, L. (2014). *Principales medidas de producción más limpia para el sector palmas, aceites, grasas y biocombustibles* (Tesis inédita de Especialización). Universidad de Medellín. Medellín, Colombia. Recuperado de: <http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/1174/>
- [3] CEGESTI. (2016). *Hacia La Sostenibilidad: Ecoetiquetas*. Ministerio de Relaciones Exteriores, Costa Rica. Recuperado de: <http://www.comprasresponsables.org/adjuntos/Eco-etiquetado.pdf>
- [4] Chalmers, P. (2014). Cambio Climático: Implicaciones para los edificios. *IPCC*. Recuperado de: http://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/Buildings_Briefing_ES.pdf
- [5] Chemours. (2015). *Guía de reconversión para el refrigerante DuPont ISCEON M029 (R422D)*. Recuperado de: https://www.chemours.com/Refrigerants/es_ES/assets/downloads/k10942_sp.pdf
- [6] Daikin. (2015). *Cómo funciona el aire acondicionado*. Recuperado de: <http://www.daikin.es/aire-acondicionado/funcionamiento/>

- [7] Davis, LW y Gertler, PJ. (2015). Contribution of air conditioning adoption to future energy use under global warming. *PNAS* 112(19), 5962-5967.
- [8] Du Pont. (2005). *Seguridad de los refrigerantes Suva® y Dupont® ISCEON® Refrigerantes serie 9*. Recuperado de: https://www.chemours.com/Refrigerants/es_MX/assets/downloads/seguridad_de_los_refrigerantes.pdf
- [9] Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica (GETE). (2005). *La protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial: Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarbonos*. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/sroc/sroc_spmts_sp.pdf
- [10] Gutiérrez, F. (2015). Aire acondicionado y climatización: *La sustitución progresiva del gas refrigerante R22. Fri3Oil System*. Recuperado de: <http://www.elaireacondicionado.com/articulos/sustitucion-gas-r22>
- [11] Ingeniería Especializada S.A. IEB. (2016). Sistema de Gestión Integrado. Política de Sostenibilidad.
- [12] JC Soluciones Técnicas S.A.C. (2008). *Los refrigerantes*. Recuperado de: <http://solucionestecnicas.pe/Boletines/BOLETIN%204.pdf>
- [13] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Centro Nacional de Producción Más Limpia, Colombia. Guía Conceptual y Metodológica de Compras Públicas Sostenibles. 2014.

- [14] Pérez Pablos, F. (2014). *Aire acondicionado y refrigeración*. Recuperado de:
<http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/aire-acondicionado-y-refrigeracion-notas/aire-acondicionado-y-refrigeracion-notas.shtml>
- [15] Pérez Porto, J y Merino, M. (2014). Definicion.de: *Definición de Aire Acondicionado - Qué es, Significado y Concepto*. Recuperado de: <http://definicion.de/aire-acondicionado/#ixzz4DTcPs757>
- [16] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA. Secretaría del Ozono. (2006). *Manual del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono*. Séptima Edición. Recuperado de:
<http://www.unep.ch/ozone/spanish/Publications/MP-Handbook-07-es.pdf>
- [17] Revista Mundo HVACR. (2010). *Recuperación, reciclado y regeneración de gas refrigerante*. Recuperado de:
<https://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2008/07/recuperacion-reciclado-y-regeneracion-de-gas-refrigerante/>
- [18] Salvador Escoda S.A. (2009). *Comunicado Conversión R22*. Recuperado de:
http://www.salvadorescoda.com/tecnico/GF/Comunicado_Escoda_conversion_R22.pdf
- [19] Sanz del Castillo, F. y Sanz del Castillo, D. (2014). *Control de refrigeración*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- [20] SimpleMachine Forum (2007). *Global Warming Potential vs Ozone Depletion Potential*. Recuperado de:
<http://www.hvactechgroup.com/hvacforum/index.php?topic=211.0>

- [21] Stavro Tirado, X. (2007). Implementación del Protocolo de Montreal en Colombia. *Producción + Limpia*, 2(1), 91-105. Recuperado de: http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol2n1/PL_V2_N1_p09_1-105_protocolo_montreal.pdf
- [22] Trujillo Vera, D. (2007). *Eure: Sistemas de refrigeración y aire acondicionado*. Recuperado de: <http://www.si3ea.gov.co/Eure/6/inicio.html>
- [23] United Nations Environment Programme (2010). *Manual for refrigeration servicing technicians*. Frionline. Recuperado de: <http://frionline.net/articulos-tecnicos/205-tipos-de-gases-refrigerantes-en-refrigeracion-y-aire-acondicionando.html>
- [24] van Hoof, B., Monroy, N. y Saer, A. (2008). *Producción Más Limpia: Paradigma de Gestión Ambiental*. México: Alfaomega. Recuperado de: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358048/Contenido_en_Linea_Exe%20modulo/leccin_9_ecoetiquetado.html
- [25] Yañez, G. (2016). *Refrigerantes*. Recuperado de: <http://www.gildardoyanez.com/refrigerantes/>