



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL



MINISTERIO DE
PLANIFICACIÓN DEL
DESARROLLO Y
MEDIO AMBIENTE



GUÍA PARA USUARIOS FINALES: GESTIÓN INTEGRAL DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN, AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERANTES

BOLIVIA
ASISTENCIA TÉCNICA A USUARIOS FINALES
Plan de manejo para la reducción de los HCFC



COMISIÓN GUBERNAMENTAL DEL
OZONO

**GUÍA PARA USUARIOS FINALES:
GESTIÓN INTEGRAL DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN, AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERANTES**

AUTORIDADES

Rodrigo Paz Pereira
Presidente Constitucional del Estado Plurinacional de Bolivia

Fernando Romero Pinto
Ministro de Planificación del Desarrollo y Medio Ambiente

Jorge Ernesto Ávila Antelo
Viceministro de Medio Ambiente, Biodiversidad, Cambios Climáticos y de Gestión y Desarrollo Forestal

CÁMARA NACIONAL DE INDUSTRIAS

Gonzalo Morales Versalovic
Presidente

Marcelo Barrón Arce
Gerente General

Giovana Chavez Nuñez
Gerente de Fortalecimiento Industrial

Gilda Chacón Diamantino
Jefe SYSO y Medio Ambiente

ONUDI

Valeria Arroyave Cardozo
Gerente de Proyecto, Cartera de América Latina (Protocolo de Montreal)

Diego Álvarez Barba
Representante País ONUDI

Jhorel Moisés Guzmán Ramírez
Soporte Técnico para Gestión de Proyectos

AUTORES

Omarly Acevedo
Germán Torres Soria
Consultores ONUDI

COMISIÓN GUBERNAMENTAL DEL OZONO



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Propósito de la guía.....	1
1.2. Público objetivo.....	1
1.3. Alcance y enfoque en la mitigación de emisiones.....	1
2. FUNDAMENTOS TÉCNICOS Y AMBIENTALES	1
2.1. Principios básicos de los sistemas RAC	1
2.2. Emisiones directas e indirectas al clima de un sistema RAC	3
2.2.1. Emisiones directas: Fugas de refrigerante	3
2.2.1.1. Impacto ambiental.....	4
2.2.1.2. Pérdida de eficiencia del sistema	5
2.2.2. Emisiones indirectas: consumo de energía.....	5
2.2.3. Cálculo del TEWI (Total Equivalent Warming Impact).....	6
2.4. Protocolo de Montreal y su evolución.....	7
3. DETERMINACIÓN DE NECESIDADES DE FRÍO Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA RAC	8
3.1. Análisis de cargas térmicas preciso	8
3.2. Selección adecuada de tecnología RAC.....	9
3.3. Criterio de eficiencia energética en la selección de equipos RAC	10
3.4. Preferir alternativas de bajo impacto ambiental	11
4. INSTALACIÓN ADECUADA DE SISTEMAS RAC.....	12
4.1. Buenas prácticas durante la instalación y antes del arranque	12
4.2. Verificación de la hermeticidad luego de anclado y ensamblado el equipo RAC.....	13
4.3. Verificación de carga de refrigerante y ajuste final de operación.....	14
4.4. Verificación y registro de condiciones de operación.....	14
5. OPERACIÓN EFICIENTE Y SEGURA	15
5.1. Realizar inventario de equipos de refrigeración y climatización	16
5.2. Monitoreo constante de parámetros de operación.....	16
5.3. Control y registro de fugas	16
5.3.1. Procedimientos para identificar fugas	17
5.4. Mantenimiento preventivo programado.....	18
5.4.1. Generalidades del mantenimiento preventivo.....	18
5.4.2. Beneficios del mantenimiento preventivo programado.....	19
5.4.3. Importancia de llevar bitácoras de mantenimiento en sistemas RAC.....	19

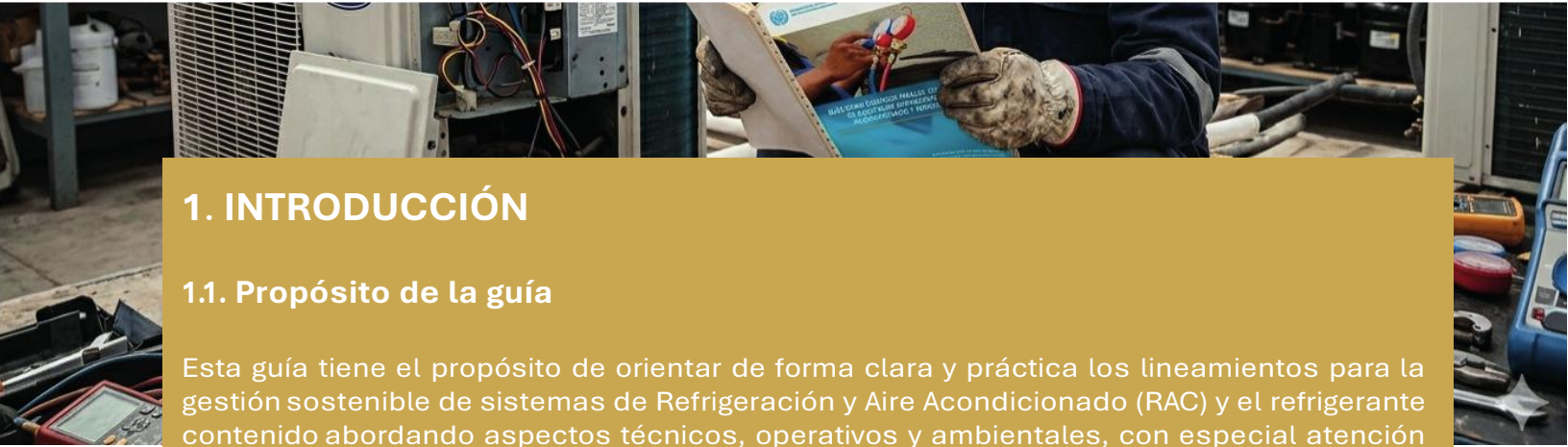
5.5. Mantenimiento correctivo o reparación de un equipo RAC.....	19
5.6. Recuperación de refrigerantes: buena práctica durante el mantenimiento.....	20
5.6.1. Generalidades de la recuperación de refrigerantes	20
5.6.2. Procedimiento para realizar la recuperación de refrigerante.....	21
5.6.3. Reciclaje de refrigerantes	22
5.6.4. Regeneración de refrigerantes	22
5.7. Reposición de refrigerantes	22
5.8. Herramientas y equipos recomendados para llevar a cabo la intervención de un equipo RAC	24
5.9. Buenas prácticas de operación para reducir el consumo energético	24
6. DISPOSICIÓN FINAL DEL REFRIGERANTE Y DEL EQUIPO RAC	25
6.1. Disposición final de equipos de refrigeración y aire acondicionado	25
6.2. Disposición final del refrigerante como residuo.....	26
6.3. Tratamiento del cilindro RAC fuera de uso	27
7. CONCLUSIONES	27

ÍNDICE DE IMÁGENES

Ilustración 1. Ciclo de refrigeración por compresión de vapor	2
Ilustración 2. Intercambio de calor del refrigerante con el ambiente	3
Ilustración 3. Emisiones de CO ₂	6
Ilustración 4. TEWI: Medida del impacto total equivalente sobre el calentamiento atmosférico.....	7
Ilustración 5. Equipos de Protección adecuado (EPPs).....	20
Ilustración 6. Herramientas para la recuperación de refrigerantes	21
Ilustración 7. Mantenimiento de aire acondicionado	25
Ilustración 8. Mantenimiento de refrigerador doméstico.....	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Refrigerantes con PCA elevado	4
Tabla 2. Refrigerantes con PCA moderado.....	4
Tabla 3. Refrigerantes de PCA bajo	5
Tabla 4. Emisiones Directas + Emisiones Indirectas	6
Tabla 5. Tecnologías RAC empleadas de acuerdo al tipo de aplicación	10
Tabla 6. Refrigerantes con cero PAO y bajo PCA y sus aplicaciones	11
Tabla 7. Formato general para el registro de parámetros	16



1. INTRODUCCIÓN

1.1. Propósito de la guía

Esta guía tiene el propósito de orientar de forma clara y práctica los lineamientos para la gestión sostenible de sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado (RAC) y el refrigerante contenido abordando aspectos técnicos, operativos y ambientales, con especial atención en la reducción de las emisiones directas (por fugas de refrigerantes) e indirectas (por consumo energético). Su objetivo es servir como herramienta para técnicos, instaladores y usuarios finales de equipos de refrigeración y/o aire acondicionado comprometidos con las buenas prácticas, eficiencia energética y el cumplimiento de normativas internacionales como el Protocolo de Montreal.

1.2. Público objetivo

Esta guía está dirigida a:

- Técnicos y profesionales en sistemas RAC.
- Instaladores y mantenedores de sistemas RAC.
- Responsables de mantenimiento.
- Usuarios finales (empresas, instituciones).
- Autoridades y responsables ambientales.

1.3. Alcance y enfoque en la mitigación de emisiones

La guía aborda fundamentos técnicos y las buenas prácticas que se deben implementar durante la vida útil de los sistemas RAC y el refrigerante contenido en ellos. Se hace énfasis en la concientización sobre el impacto ambiental que ocasiona el refrigerante cuando es liberado de manera voluntaria e involuntaria, en la capa de ozono y el calentamiento global, y como los controla el Protocolo de Montreal y sus enmiendas.

2. FUNDAMENTOS TÉCNICOS Y AMBIENTALES

2.1. Principios básicos de los sistemas RAC

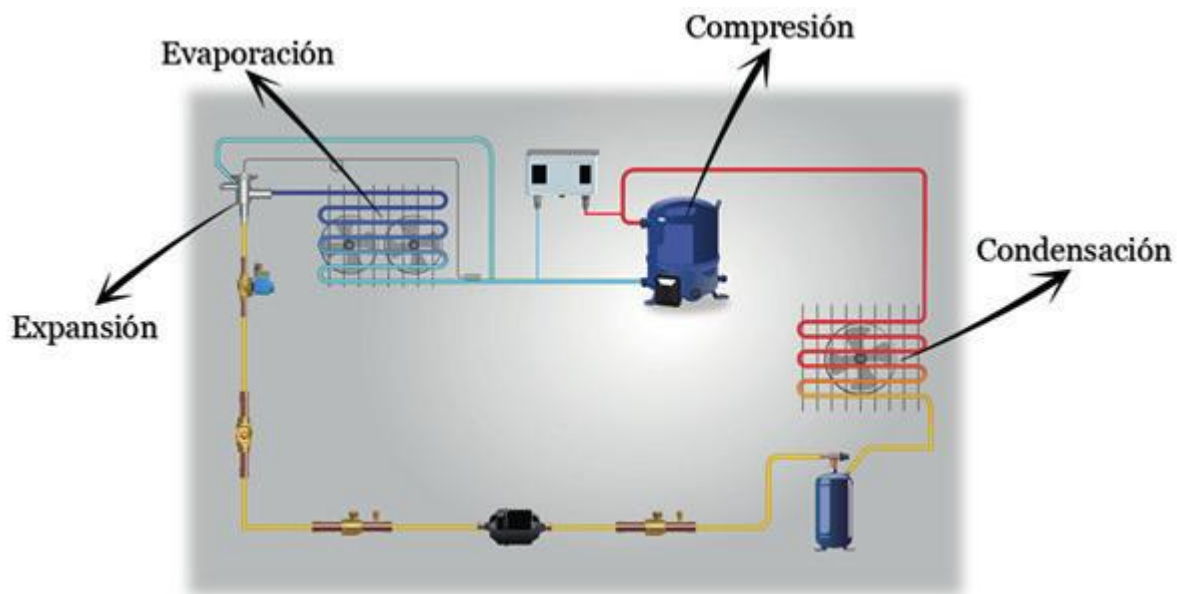
La refrigeración y aire acondicionado se basa en un proceso termodinámico fundamental conocido como ciclo de compresión de vapor, que básicamente permite la transferencia de calor de un ambiente a baja temperatura y lo libera a un ambiente a alta temperatura, al comprimir un gas refrigerante elevando su presión y temperatura. Los componentes básicos de un ciclo de compresión son: compresor, condensador, dispositivo de expansión y evaporador. Además de estos componentes, el gas refrigerante es fundamental, ya que circula por todos ellos cambiando de estado (líquido a gaseoso y viceversa) constantemente.



El ciclo de compresión de vapor incluye 4 etapas:

- **Compresión:** El refrigerante en estado gaseoso ingresa al compresor donde es comprimido, aumentando su presión y temperatura.
- **Condensación:** El refrigerante a alta temperatura, ingresa al condensador, donde cede calor al medio ambiente, ocasionando un cambio de fase de estado gaseoso a líquido.
- **Expansión:** El dispositivo de expansión, recibe el refrigerante en estado líquido y al pasar por su mecanismo, inicia el proceso de cambio de estado para la evaporación, reduciendo la presión y temperatura.
- **Evaporación:** El refrigerante pasa por el evaporador ya en forma gaseosa, donde absorbe calor del ambiente a enfriar, para reingresar al compresor finalizando un ciclo de refrigeración.

Ilustración 1. Ciclo de refrigeración por compresión de vapor

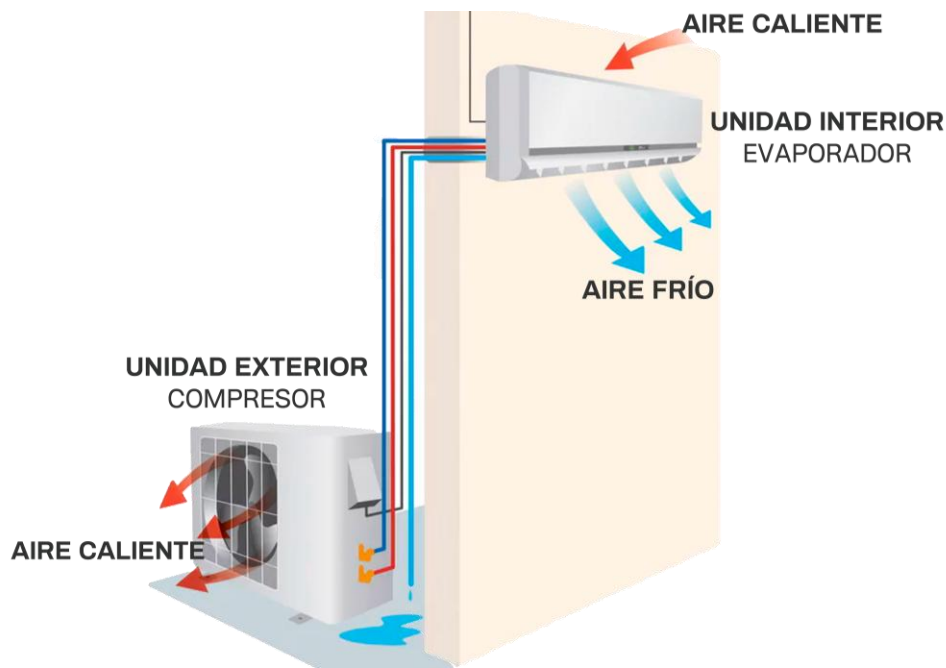


Ya conocidas las etapas del ciclo de compresión de vapor, a continuación, se explicará la importancia y funcionamiento de los componentes principales.

- **Compresor:** Es el componente esencial y más importante del sistema. Tiene como principal función recibir el refrigerante a baja presión y temperatura del evaporador, para posteriormente mediante su compresión elevar su temperatura y presión, y enviarlo hacia el condensador. Utiliza aceite para lubricar sus elementos mecánicos, este debe ser compatible con el refrigerante empleado. Es el componente que más energía consume del sistema, por lo que se deben aplicar todas las medidas de protección posibles para garantizar su trabajo en condiciones ideales y extender su vida útil.
- **Condensador:** Recibe el refrigerante a alta presión y temperatura del compresor, tiene la función de disipar el calor absorbido por el refrigerante hacia el medio exterior, puede ser enfriado por aire con ventiladores o agua con torres de enfriamiento, transformando el refrigerante de gas a líquido. Un condensador limpio y que recibe mantenimiento periódico, garantiza un sistema eficiente.

- **Válvula de expansión:** Tiene como principal función reducir la presión del refrigerante líquido que sale del condensador, provocando una caída brusca de la temperatura. De esta forma prepara al refrigerante para evaporarse a una temperatura más baja en el evaporador. Una válvula mal calibrada, puede ocasionar anomalías en el sobrecalentamiento y subenfriamiento.
- **Evaporador:** Componente donde el refrigerante cambia de estado líquido a completamente gaseoso, a baja presión y temperatura, absorbiendo a su paso el calor del producto almacenado, generando el efecto de enfriamiento. Es importante mantener limpio y descongelado el evaporador para un correcto funcionamiento.
- **Refrigerante:** Si bien no es un componente físico, es un actor muy importante en los sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado (RAC) en general, ya que interactúa con todos los componentes mencionados, cambiando su estado de gas a líquido y viceversa, elevando y reduciendo su presión y temperatura, siendo el agente que permite la absorción de calor del producto y disiparlo al exterior. Aspectos a tomar en cuenta son los índices PAO (Potencial Agotador de Ozono) y PCA (Potencial de Calentamiento Atmosférico) al momento de diseñar un sistema de refrigeración, para evitar contribuir con el aumento de los GEI (Gases de Efecto Invernadero).

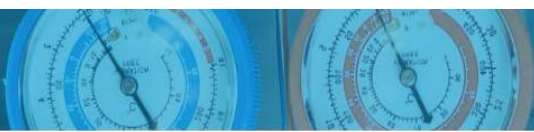
Ilustración 2. Intercambio de calor del refrigerante con el ambiente



2.2. Emisiones directas e indirectas al clima de un sistema RAC

2.2.1. Emisiones directas: Fugas de refrigerante

Las fugas de refrigerante en los sistemas RAC representan un problema crítico tanto para el medioambiente, como para la eficiencia energética del sistema. A continuación, se explican cada uno de ellos.



2.2.1.1. Impacto ambiental

Los refrigerantes que escapan a la atmósfera actúan como potentes GEI y afectan negativamente la capa de ozono, para entender su afectación, a continuación, se dan dos ejemplos:

- Una fuga de R-22, representa liberar 1800 unidades de PCA, lo que significa que es 1800 veces más dañino que el CO₂ (Dióxido de Carbono), además que tiene una afectación de 0,055 de PAO por su contenido de cloro en su composición.
- Una fuga de R-404A, representa liberar 3900 unidades de PCA, pero al no contener cloro, tiene un valor de cero de PAO.

En los ejemplos se muestran el efecto de 2 refrigerantes que pertenecen a diferentes familias, el R-22 es un HCFC (HidroCloroFluoroCarbonos), que se tiene previsto eliminar en el 2030, y el R-404A un HFC (HidroFluoroCarbonos), que se debe reducir en un 80% al 2025, según la normativa del Protocolo de Montreal y sus enmiendas.

El potencial de calentamiento atmosférico (PCA) es un índice que ayuda a determinar cuánto calor atrapa un refrigerante en la atmosfera comparado siempre con el CO₂ cuyo valor es igual a 1. El Potencial Agotador de Ozono (PAO) es un índice que define la capacidad que tiene una sustancia de deteriorar las moléculas de ozono estratosférico, la unidad de medida es el CFC-11, que tiene un PAO = 1. Los índices de PCG de los refrigerantes más empleados, se muestran a continuación:

Tabla 1. Refrigerantes con PCA elevado

Nro.	Refrigerante	Tipo	PCG
1	R-507A	HFC	3985
2	R-404A	HFC	3922
3	R-422D	HFC/HFO	2542
4	R-427A	HFC	2310
5	R-410A	HFC	2088

Tabla 2. Refrigerantes con PCA moderado

Nro.	Refrigerante	Tipo	PCG
1	R-407C	HFC	1847
2	R-22	HCFC	1810
3	R-437A	HFC	1770
4	R-134a	HFC	1430
5	R-448A	HFC/HFO	1387



Tabla 3. Refrigerantes de PCA bajo

Nro.	Refrigerante	Tipo	PCG
1	R-454B	HFC/HFO	697
2	R-32	HFC	675
3	R-513A	HFC/HFO	573
4	R-290 (Propano)	Hidrocarbano	3
5	R-600a (Isobutano)	Hidrocarbano	3
6	R-744 (CO ₂) (Dióxido de Carbono)	Natural	1
7	R-717 (Amoníaco)	Natural	0

2.2.1.2. Pérdida de eficiencia del sistema

Las fugas de refrigerante también repercuten en la eficiencia y rendimiento de los sistemas RAC, reduciendo la capacidad normal de enfriamiento pudiendo ocasionar:

- Sobrecalentamiento del compresor
- Aumento en el consumo eléctrico
- Desgaste prematuro de componentes
- Reducción en la capacidad de enfriamiento
- Paradas obligatorias de producción

Trabajar con refrigerante en cantidades insuficientes en el sistema frigorífico, reduce directamente la capacidad de absorber y transferir calor, ocasionando trabajo irregular del compresor, variando los parámetros eléctricos, termodinámicos y de presión, influyendo en la reducción de la eficiencia del sistema frigorífico.

2.2.2. Emisiones indirectas: consumo de energía

Los sistemas RAC en general son uno de los mayores consumidores de energía eléctrica en zonas residenciales, comerciales e industriales, la cual en gran medida proviene de combustibles fósiles. Este consumo energético se traduce en emisiones indirectas de CO₂ (Dióxido de Carbono) equivalente, y va a depender de la cantidad de energía consumida y de la fuente energética, entre menor consumo del equipo y más limpia la fuente, menor es su impacto en CO₂.

Por ejemplo, un equipo refrigerador pequeño de 200 Watts de potencia, en un año llega a consumir aproximadamente 730 kWh y esto es equivalente a 235,79 kg CO₂/año. Un equipo que funciona de forma ineficiente incrementa de forma progresiva el consumo eléctrico y por ende aumentan los kg de CO₂ por la generación de energía.

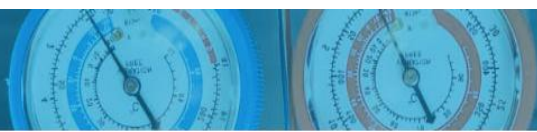


Ilustración 3. Emisiones de CO₂

En Bolivia, la relación entre el consumo de electricidad y las emisiones de CO₂ equivalente se puede analizar considerando la matriz energética del país y la eficiencia de sus fuentes de generación. En 2024, la intensidad de carbono de la electricidad generada fue de 0,323 kg CO₂ eq/kWh. Esto significa que por cada kilovatio-hora (kWh) consumido, se emiten aproximadamente 0,323 kilogramos de dióxido de carbono equivalente.

2.2.3. Cálculo del TEWI (Total Equivalent Warming Impact)

El TEWI es un indicador importante para evaluar el impacto de los sistemas RAC, donde se combinan, tanto las emisiones directas y las emisiones indirectas, para luego obtener un solo valor que pueda ser comparado y analizado que permita tomar decisiones de sostenibilidad en la reducción de emisiones por fugas de refrigerante y por consumo energético. Para el cálculo del TEWI se llevará a cabo un ejemplo;

Datos:

Refrigerante: R-404A

PCG R-404A: 3922

Carga de refrigerante: 3 [kg]

Tasa de fuga anual: 5%

Vida útil del equipo: 15 años

Consumo eléctrico anual: 3000 kWh

Factor de emisión: 0,5 kg CO₂/año

Tabla 4. Emisiones Directas + Emisiones Indirectas

Emisiones Directas:

Emisiones Directas = *Carga de refrigerante* * *Tasa de fuga* * *Vida útil* * *PCG*

Emisiones Directas = 3kg * 0,05 * 15 años * 3922

Emisiones Directas = 8824 kg CO₂eq

Emisiones Indirectas:

Emisiones Indirectas = Consumo anual de energía * Vida útil * Factor de emisión

Emisiones Indirectas = 3000 $\frac{kWh}{año}$ * 15 años * 0,5 $\frac{Kg CO_2}{kWh}$

Emisiones Indirectas = 22500 [kgCO₂- eq]

TEWI = Emisiones Directas + Emisiones Indirectas

TEWI = 8824 kg CO₂ eq + 22500 kg CO₂ eq

TEWI = 31324 kg CO₂ eq

Para tener un mejor entendimiento del valor obtenido de TEWI en este ejemplo, el valor obtenido es equivalente a un equipo frigorífico de 1HP aproximadamente, trabajando con R-404A cargado con 3 kg. y fugas del 5%, durante 15 años de vida; la contaminación equivalente es similar a 130.000 km. de recorrido en auto con gasolina de 2.000 cm³ de cilindrada, es como dar 3 vueltas a nuestro planeta por el Ecuador.

Ilustración 4. TEWI: Medida del impacto total equivalente sobre el calentamiento atmosférico



2.4. Protocolo de Montreal y su evolución



Recordemos que el Protocolo de Montreal es un acuerdo internacional elaborado en 1987 para proteger la capa de ozono mediante la eliminación progresiva de las Sustancias Agotadoras del Ozono (SAO), del cual nuestro país Bolivia forma parte. Su objetivo principal desde un inicio fue establecer y hacer cumplir el calendario global para la eliminación de estas sustancias. En el caso particular del área de los sistemas RAC, se eliminaron los CFC (CloroFluoroCarbonos) como los refrigerantes R-11 y R-12 entre los que eran más comerciales; en la actualidad se encuentran en proceso de eliminación los HCFC (HidroCloroFluoroCarbonos) como el R-123, R-22 y R-141b. Estas 2 familias de refrigerantes son las primeras en ser controladas debido a su contenido de cloro; elemento que tiene el gran potencial de destruir la capa de ozono.

Aunque el Protocolo de Montreal logró controlar los CFC y HCFC, existe aún un nuevo desafío que son los HFC (HidroFluoroCarbonos) con altos PCA, que inicialmente fueron introducidos como sustitutos; al no contener cloro, no dañan la capa de ozono, pero son potentes gases de efecto invernadero.



Según los cronogramas de eliminación establecidos, hasta el año 2030 debe alcanzarse la eliminación total del consumo de los HCFC. Entre las sustancias de esta familia que aún se emplean en el sector se encuentra el R-22. Por otro lado, en 2016, mediante la Enmienda de Kigali, se establecieron medidas para la reducción gradual de los HFC, familia a la que pertenecen refrigerantes como el R-134a, R-404A, R-410A y R-507A, entre otros, los cuales se encuentran entre los más utilizados en sistemas de refrigeración y aire acondicionado (RAC). De acuerdo con el cronograma aplicable a los países considerados “en desarrollo”, la reducción debe iniciar con una disminución del 10% hasta 2029, y alcanzar una reducción del 80% hacia 2045.

Según el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), se tiene estimado un incremento de temperatura de aproximadamente 2,5 °C para el año 2100, que ocasionaría impactos ambientales devastadores, como pérdida de biodiversidad animal y vegetal, derretimiento de glaciares generando inundaciones, crisis sanitaria, muertes por calor extremo, entre las consecuencias más graves. Este antecedente marcó el camino para lograr el acuerdo más importante en relación con el cambio climático adoptado por más de 196 países (Bolivia es parte), el Acuerdo de París, jurídicamente vinculante adoptado en la COP21 en París, el 12 de diciembre de 2015. Su objetivo principal es limitar el calentamiento global a muy por debajo de 2 grados Celsius, preferiblemente a 1.5 grados, en comparación con los niveles preindustriales.

Actualmente, se estima que la implementación de la Enmienda de Kigali, podría evitar hasta 0,5 °C del total estimado por el Acuerdo de París para finales de 2100, resultando un aporte fundamental y de gran aporte. Además, la estructura del Protocolo, con cronogramas de eliminación y reducción establecidos, ofrece un modelo de cooperación a países en desarrollo, colaborando en la reducción de emisiones y promocionando alternativas sostenibles y amigables con el medio ambiente. En un futuro cercano, su papel será aún más relevante por fomentar la transición hacia refrigerantes naturales y tecnologías limpias, con especial atención en el sector de los sistemas RAC, responsables de una parte creciente del consumo de energía eléctrica y sus emisiones asociadas.

3. DETERMINACIÓN DE NECESIDADES DE FRÍO Y SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA RAC

La identificación de la necesidad de enfriamiento es un paso fundamental en la selección adecuada de un equipo de refrigeración o aire acondicionado, porque asegura que el sistema elegido cumpla de manera eficiente, segura y económica con los requerimientos específicos de la aplicación. Este proceso implica determinar con precisión la carga térmica, el rango de temperatura y humedad deseados, así como las condiciones operativas y ambientales.

3.1. Análisis de cargas térmicas preciso

Para dimensionar correctamente la necesidad de enfriamiento de un sistema de refrigeración, aire acondicionado o climatización (RAC), el primer paso fundamental es determinar con precisión la carga térmica. Este análisis permite establecer cuánta energía debe extraer el sistema para mantener las condiciones deseadas de temperatura y humedad, según la aplicación y el entorno.

La carga térmica se calcula considerando tanto las ganancias de calor como las pérdidas de frío que ocurren en el espacio o proceso. Para lograr una estimación precisa, se deben evaluar los siguientes factores clave:



- **Condiciones ambientales externas:** Temperatura, humedad relativa y radiación solar incidentes.
- **Aislamiento y características de la envolvente:** Tipo y espesor de aislantes, transmitancia térmica de paredes, techos, pisos, puertas y ventanas.
- **Cargas internas:** Calor generado por personas, maquinaria, equipos eléctricos e iluminación.
- **Infiltraciones y ventilación:** Renovaciones de aire por apertura de puertas, fugas o sistemas de ventilación mecánica.
- **Carga por producto o proceso:** En aplicaciones de refrigeración industrial o comercial, considerar el calor que aportan los productos almacenados o procesados (temperatura inicial, calor específico, calor latente si hay cambios de fase).
- **Condiciones de operación:** Temperatura y humedad objetivo, tiempo de enfriamiento requerido, continuidad o intermitencia del proceso.

Una determinación precisa de la carga térmica evita sobredimensionamientos o subdimensionamientos, optimiza la eficiencia energética, reduce costos operativos y prolonga la vida útil del equipo. Solo después de contar con este análisis se puede proceder a seleccionar la capacidad de enfriamiento adecuada del sistema RAC necesario.

3.2. Selección adecuada de tecnología RAC

Una vez calculada la carga térmica, el siguiente paso fundamental es la selección del tipo de tecnología de refrigeración o aire acondicionado (RAC) más apropiada para la aplicación. Esta decisión debe considerar de manera integral aspectos técnicos, ambientales y económicos. Entre los factores clave para esta selección se incluyen:

- **Aplicación específica:** Determinar si el sistema será para confort, proceso industrial, almacenamiento de productos perecederos, etc.
- **Carga térmica calculada:** Dimensiona el tamaño, la capacidad y el tipo de sistema requerido.
- **Tipo de refrigerante:** Considerar el impacto ambiental (PCA, PAO), disponibilidad, costo y compatibilidad con la tecnología.
- **Normas y regulaciones vigentes:** Cumplimiento de legislaciones locales e internacionales, incluyendo restricciones al uso de ciertos refrigerantes y requisitos de eficiencia energética.
- **Eficiencia energética:** Evaluar tecnologías que reduzcan el consumo eléctrico, especialmente en aplicaciones de uso continuo.
- **Condiciones climáticas y de operación:** Adaptabilidad de la tecnología a las condiciones ambientales y a la variabilidad de carga.
- **Costo total de propiedad (TCO):** Considerar no sólo la inversión inicial, sino también los costos de operación, mantenimiento y vida útil del sistema.
- **Disponibilidad de repuestos y servicio técnico:** Garantizar soporte y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida del equipo.

Una selección adecuada de tecnología RAC no sólo asegura el cumplimiento de la carga térmica calculada, sino que también optimiza el rendimiento, minimiza costos operativos y reduce el impacto ambiental. A continuación, se listan, tecnologías empleadas de acuerdo al tipo de aplicación:

Elegir la tecnología RAC más apropiada contribuye a la sostenibilidad y confiabilidad del sistema.



Tabla 5. Tecnologías RAC empleadas de acuerdo al tipo de aplicación

Tipo de Tecnología	Aplicación Principal	Sector
Sistemas de expansión directa (DX)	Climatización de confort en oficinas, residencias y comercios	Comercial / Residencial
Refrigeración industrial por amoníaco	Procesos industriales, almacenamiento de alimentos, hielo	Industrial
Chillers enfriados por aire o agua	Climatización de grandes edificaciones, hospitales, centros de datos	Comercial / Industrial
Vitrinas y cámaras frigoríficas comerciales	Conservación de alimentos y bebidas en tiendas y restaurantes	Comercial
Sistemas de CO ₂ transcrito	Refrigeración en supermercados, centros logísticos y plantas procesadoras	Comercial / Industrial
Soluciones portátiles o compactas	Enfriamiento de espacios reducidos, eventos temporales, zonas remotas	Residencial / Eventos
Sistemas VRF (Volumen de Refrigerante Variable)	Climatización de edificios múltiples zonas y control individual	Comercial / Institucional
Bombas de calor	Calefacción y enfriamiento reversible para climatización integral	Residencial / Comercial
Sistemas de absorción	Uso de calor residual o energía solar para refrigeración o climatización	Industrial / Comercial
Refrigeración criogénica	Conservación y transporte de productos a temperaturas ultra bajas	Industrial / Científico

3.3. Criterio de eficiencia energética en la selección de equipos RAC

El criterio de eficiencia energética es un factor determinante en la selección de la tecnología de refrigeración y aire acondicionado (RAC) más adecuada para una aplicación específica. Su aplicación permite identificar sistemas que no sólo cumplen con las necesidades térmicas, sino que también optimizan el consumo de energía, reducen costos operativos y minimizan el impacto ambiental asociado a las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero.

Este criterio implica evaluar indicadores clave de eficiencia energética, como:

- **Coeficiente de Rendimiento (COP):** Relación entre la capacidad de refrigeración o calefacción y la energía eléctrica consumida; un valor más alto indica mayor eficiencia.
- **Índice de Eficiencia Energética Estacional (SEER/EER):** Mide el rendimiento promedio del equipo a lo largo de una temporada o en condiciones específicas de prueba; valores más altos significan menor consumo por unidad de frío o calor producido.
- **Cumplimiento de estándares mínimos de desempeño energético (MEPS):** Verifica que el equipo cumpla con las exigencias técnicas establecidas por la normativa nacional o internacional para garantizar un consumo eficiente.

Al considerar estos indicadores, es posible comparar diferentes tecnologías y modelos, seleccionando aquellos que ofrecen mayor eficiencia sin comprometer la calidad del servicio térmico. La incorporación del criterio de eficiencia energética en la decisión de compra o instalación de equipos RAC contribuye a:

Reducción de costos operativos: Un mayor rendimiento energético implica menor consumo eléctrico, lo que se traduce en facturas de energía más bajas durante toda la vida útil del equipo.

Menor impacto ambiental: Disminuye las emisiones indirectas derivadas de la generación de energía eléctrica.

Cumplimiento normativo: Garantiza que la tecnología seleccionada se ajuste a las regulaciones nacionales e internacionales de eficiencia energética.

Mayor vida útil del sistema: Equipos eficientes suelen operar en condiciones óptimas, reduciendo el desgaste de componentes.

En conclusión, priorizar la eficiencia energética en la selección de tecnologías RAC asegura un balance óptimo entre rendimiento térmico, ahorro económico y sostenibilidad ambiental, favoreciendo soluciones más responsables y competitivas a largo plazo.

3.4. Preferir alternativas de bajo impacto ambiental

Seleccionar equipos de refrigeración y aire acondicionado (RAC) que utilicen refrigerantes de bajo impacto ambiental es una decisión estratégica que contribuye tanto a la sostenibilidad como al cumplimiento normativo. La razón principal radica en que los refrigerantes tradicionales de alto Potencial de Calentamiento Atmosférico (PCA) y, en algunos casos, alto Potencial de Agotamiento de Ozono (PAO), generan emisiones directas significativas cuando se fugan, lo que contribuye al cambio climático y, en el caso de los que tienen PAO, a la destrucción de la capa de ozono.

Al preferir refrigerantes con bajo PCA y PAO nulo, como los naturales (R-290, R-600a, CO₂, amoníaco) o algunos sintéticos de nueva generación, se reduce de manera considerable la huella de carbono del sistema a lo largo de su ciclo de vida. A continuación, se presenta una tabla con ejemplos de estos refrigerantes y sus aplicaciones típicas:

Tabla 6. Refrigerantes con cero PAO y bajo PCA y sus aplicaciones

Refrigerante	Tipo	PCA aproximado	PAO	Aplicaciones comunes
R-290 (Propano)	Natural	3	0	Refrigeradores comerciales, congeladores, sistemas de aire acondicionado doméstico
R-600a (Isobutano)	Natural	3	0	Refrigeradores domésticos, vitrinas comerciales
CO ₂ (R-744)	Natural	1	0	Sistemas transcíticos en supermercados, transporte refrigerado, bombas de calor
Amoníaco (R-717)	Natural	0	0	Refrigeración industrial, plantas de hielo, cámaras frigoríficas
HFO-1234yf	Sintético (HFO)	<1	0	Aire acondicionado automotriz, algunos equipos RAC de nuestra generación
HFO-1234ze	Sintético (HFO)	<1	0	Enfriadores, bombas de calor
R-32	Sintético (HFC)	675	0	Equipo de aire acondicionado residenciales y comerciales, sistemas VRF
R-152a	Sintético (HFC)	124	0	Refrigeración ligera, aerosoles, algunos sistemas de aire acondicionado especializados
R- 513A	Sintético (mezcla HFC/HFO)	631	0	Sustituto de R-134a en enfriadores y refrigeración comercial
R-450A	Sintético (mezcla HFC/HFO)	601	0	Sustituto de R-134a en sistemas de media temperatura, refrigeración comercial e industrial
R-454B	Sintético (mezcla HFC/HFO)	466	0	Aire acondicionado residencial y comercial, sustituto de R-410A

Esta selección, además de mejorar el desempeño ambiental de la instalación, facilita la



adaptación a regulaciones presentes y futuras (como la Enmienda de Kigali) y puede incluso mejorar la eficiencia energética del equipo, reduciendo las emisiones indirectas asociadas al consumo eléctrico.

En resumen, dar prioridad a equipos con refrigerantes de bajo impacto ambiental en la selección de tecnologías RAC es una acción clave para mitigar el cambio climático, cumplir con las normativas internacionales y nacionales, y promover la transición hacia sistemas más sostenibles y eficientes.

4. INSTALACIÓN ADECUADA DE SISTEMAS RAC

Luego de realizar el cálculo preciso de la necesidad de enfriamiento y seleccionar el equipo de refrigeración o aire acondicionado más adecuado para la aplicación, el siguiente paso es la instalación del equipo. Esta etapa es crítica para garantizar que el sistema opere de manera eficiente, segura y conforme a las especificaciones técnicas y normativas vigentes.

Una instalación correcta no sólo asegura el óptimo rendimiento energético del equipo, sino que también prolonga su vida útil, reduce el riesgo de fallas prematuras y evita fugas de refrigerante que puedan tener impacto ambiental. Para ello, se deben cumplir ciertos requerimientos técnicos, de seguridad y de calidad establecidos por fabricantes, regulaciones locales e internacionales, y buenas prácticas del sector RAC (Refrigeración y Aire Acondicionado).

4.1. Buenas prácticas durante la instalación y antes del arranque

La correcta instalación de un sistema RAC (Refrigeración y Aire Acondicionado) es clave para garantizar su eficiencia, prolongar su vida útil y evitar costos adicionales derivados de fallos prematuros o consumos energéticos elevados. Las buenas prácticas deben aplicarse desde la selección del área de instalación hasta la puesta en marcha y verificación de su funcionamiento. A continuación, consideraciones a tomar en cuenta:

a) Competencia técnica del personal que hará el trabajo

Antes de iniciar cualquier actividad, es fundamental exigir y verificar que el técnico o técnica encargado cuente con:

- El conocimiento técnico necesario sobre la tarea a realizar, respaldado por experiencia y formación adecuada.
- Certificación en competencias laborales vigentes y relacionados con el trabajo que realizará, que garanticen su idoneidad para el trabajo.
- Uso correcto de los elementos de protección personal (EPP) y de seguridad requeridos, conforme a las normativas aplicables.
- Disponibilidad y estado óptimo de todas las herramientas, instrumentos y equipos necesarios para llevar a cabo una instalación segura, eficiente y conforme a los estándares de seguridad y procedimientos técnicos.

b) Selección y preparación del área de instalación

- Ubicación estratégica: Evitar exposición directa a radiación solar, zonas con acumulación de polvo o contaminantes, y proximidad a fuentes de calor.



- **Accesibilidad:** Garantizar espacio suficiente para maniobras de mantenimiento preventivo y correctivo.
- **Obras civiles previas:** Nivelar el piso, asegurar paredes firmes, instalar drenajes adecuados y verificar que el ambiente sea apto para la operación del sistema.
- **Ventilación:** Prever flujo de aire adecuado para evitar sobrecalentamientos.

c) Instalación eléctrica

- **Cumplimiento normativo:** Respetar normas eléctricas nacionales e internacionales.
- **Protecciones:** Instalar protecciones térmicas, diferenciales y magnetotérmicas para proteger el equipo y al personal.
- **Cableado:** Utilizar cables de sección adecuada, debidamente canalizados y protegidos contra humedad y calor.
- **Iluminación del área:** Asegurar valores adecuados de potencia de iluminación para evitar incremento de carga térmica.

d) Montaje mecánico

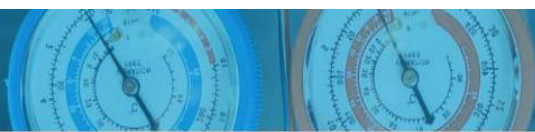
- **Soportes y bases:** Utilizar estructuras firmes y antivibratorias para la unidad condensadora y componentes mecánicos, siguiendo las recomendaciones del fabricante y las normas técnicas aplicables.
- **Alineación y fijación:** Garantizar montaje nivelado y fijación segura de evaporadores, condensadores y tuberías, considerando distancias mínimas recomendadas para el flujo de aire y accesibilidad para mantenimiento.
- **Tuberías:** Colocar con pendientes y soportes adecuados, evitando estrangulamientos y asegurando aislamiento térmico correcto; seguir normas adecuadas.
- **Equipos de AC:** En unidades externas, usar soportes metálicos dimensionados para peso y vibraciones, resistentes a la corrosión y con tratamiento anticorrosivo si están expuestos a la intemperie.
- **Ubicación de la unidad condensadora:** Instalar en zonas con libre circulación de aire, lejos de fuentes de calor o contaminantes, y respetar las distancias mínimas a paredes u otros obstáculos, evitando al máximo la transmisión de vibraciones hacia estructuras cercanas mediante el uso de elementos antivibratorios.
- **Instalación de la unidad evaporadora:** Ubicar a la altura y orientación que garantice una distribución homogénea del aire, evitando obstáculos y asegurando la correcta evacuación de condensados según normas de drenaje.

e) Conexiones frigoríficas

- **Limpieza y hermeticidad:** Trabajar con tuberías limpias y secas, sellar extremos durante el montaje para evitar ingreso de humedad.
- **Soldadura y uniones:** Realizar soldaduras con atmósfera inerte (nitrógeno) y verificar que las uniones sean herméticas.

4.2. Verificación de la hermeticidad luego de anclado y ensamblado el equipo RAC

La verificación de hermeticidad es una etapa crítica que debe realizarse inmediatamente después de que el sistema de refrigeración y aire acondicionado (RAC) ha sido anclado y ensamblado en su ubicación final. Este proceso garantiza que todas las uniones mecánicas,



conexiones soldadas y componentes del circuito frigorífico, estén completamente herméticos antes de la carga de refrigerante y puesta en marcha del equipo, evitando pérdidas de refrigerante, reduciendo el impacto ambiental y asegurando un funcionamiento eficiente. A continuación, las medidas más adoptadas para la detección de la hermeticidad del sistema RAC:

a) Inspección visual previa

- Revisar que todas las conexiones roscadas y bridadas estén firmemente ajustadas.
- Confirmar que no existan deformaciones o daños en las tuberías o uniones.
- Verificar la correcta fijación y alineación de las unidades condensadora y evaporadora.

b) Prueba de presión con nitrógeno seco

- Utilizar nitrógeno seco para presurizar el sistema de acuerdo con las especificaciones del fabricante (generalmente entre 200 y 350 psi, dependiendo del refrigerante y diseño).
- Mantener la presión durante el tiempo recomendado (mínimo 12 horas) y monitorear caídas de presión.
- No usar oxígeno u otros gases inflamables para esta prueba.

c) Proceso de vacío

- Una vez confirmada la hermeticidad, conectar una bomba de vacío al sistema utilizando mangueras y conexiones en buen estado, preferiblemente con válvulas de paso para minimizar la entrada de aire.
- Realizar un vacío profundo hasta alcanzar al menos 500 micrones (o el valor recomendado por el fabricante), verificando con un vacuómetro calibrado.
- Mantener el vacío por un período mínimo de 30 a 60 minutos para garantizar la eliminación de humedad y gases no condensables.
- Cerrar las válvulas y monitorear que no haya incremento de presión; un aumento indicaría posible fuga o presencia de humedad residual.
- Proteger las conexiones y evitar que entre humedad durante cualquier interrupción del proceso.

d) Registro y trazabilidad

- Documentar las presiones y el tiempo transcurrido.
- Archivar los resultados como evidencia de cumplimiento normativo y de garantía.

4.3. Verificación de carga de refrigerante y ajuste final de operación

Esta etapa del proceso de instalación y puesta en marcha de un sistema de refrigeración asegura que, después de confirmar la hermeticidad, el equipo cuente con la cantidad correcta de refrigerante y opere dentro de los parámetros de diseño. Un control riguroso de la carga y de las condiciones finales de funcionamiento no sólo optimiza la eficiencia energética y el rendimiento del sistema, sino que también prolonga su vida útil y reduce riesgos de fallas prematuras.

4.4. Verificación y registro de condiciones de operación

Verificar las condiciones en las que operan los sistemas RAC es muy importante, ya sea



para la puesta en marcha, durante la marcha, periodos de mantenimiento, incluso cuando este deja de funcionar. Este proceso asegura que el sistema funcione siempre dentro los parámetros técnicos establecidos. Para tal efecto se requieren ciertos parámetros a monitorear con el respectivo instrumental. Las buenas practicas a seguir son:

a) Carga de Refrigerante (si es necesario)

- Conectar el cilindro de refrigerante al puerto de servicio del sistema.
- Cargar lentamente el refrigerante, manteniendo el cilindro en posición adecuada (líquido o vapor según indicación del fabricante) y monitoreando el peso en la balanza.
- Evitar sobrecargar el sistema; detener la carga cuando se alcance la cantidad especificada o los parámetros de presión/temperatura recomendados.

b) Verificación de condiciones de operación

- Encender el sistema y dejarlo estabilizar.
- Medir presiones de succión y descarga, temperatura de línea de succión y descarga, temperatura de aire de entrada y salida en evaporador y condensador.
- Verificar sobrecalentamiento y subenfriamiento para confirmar una carga adecuada.
- Revisar los parámetros eléctricos, incluyendo voltaje, corriente y factor de potencia, para asegurar que el sistema opere dentro de los límites establecidos por el fabricante y evitar sobrecargas o funcionamiento ineficiente.

c) Ajuste final y marcado

- Realizar pequeños ajustes en la carga si las condiciones no cumplen las especificaciones.
- Confirmar que el equipo trabaja dentro de los parámetros de diseño y que el rendimiento es óptimo.
- Registrar los valores finales y cerrar herméticamente las válvulas de servicio.
- Marcar el equipo con la identificación correspondiente, incluir tipo y clasificación de seguridad del refrigerante cargado.

5. OPERACIÓN EFICIENTE Y SEGURA

Una vez instalado el sistema RAC, la operación eficiente y segura es fundamental para garantizar un rendimiento óptimo, reducir costos energéticos y también minimizar el impacto ambiental. El sistema además de cumplir con la función de enfriamiento tiene que poder cumplir con los parámetros de eficiencia energética y mecánica para alargar su tiempo de vida útil.

Asegúrese de que quien realiza la intervención del equipo durante la etapa de operación del mismo, cuente con el conocimiento técnico necesario, respaldado por experiencia y formación adecuada; posea la certificación en competencias laborales vigentes y relacionados con el trabajo que realizará; haga uso correcto de los elementos de protección personal (EPP) y de seguridad requeridos, conforme a las normativas aplicables; y disponga de las herramientas, instrumentos y equipos necesarios para llevar a cabo la actividad de manera segura, eficiente y conforme a los estándares de seguridad y procedimientos técnicos.

A continuación, se describen las acciones seguir para que el sistema funcione de manera eficiente y segura durante su tiempo de uso.



5.1. Realizar inventario de equipos de refrigeración y climatización

Con el objetivo de identificar la clase de equipos que posee el usuario final y realizar una adecuada gestión de los refrigerantes y los equipos, es necesario llevar un registro de todos los equipos de refrigeración y aire acondicionado y sus intervenciones, el cual como mínimo se recomienda tenga la siguiente información:

- **Identificación del equipo (ver datos de placa de los equipos al lado del compresor o en un costado del equipo):** marca, modelo, ubicación, fecha de la instalación, tipo y cantidad de refrigerante.
- **Carga de refrigerante:** fecha, datos del técnico que realiza mantenimiento, cantidad de refrigerante adicionado y motivo.
- **Test de fugas:** fecha, datos del técnico que realiza la prueba, resultados, acciones correctivas requeridas y seguimiento.

5.2. Monitoreo constante de parámetros de operación

El registro y seguimiento de los parámetros de funcionamiento de los sistemas RAC es fundamental para garantizar una operación eficiente y segura. Este procedimiento nos permite monitorear el funcionamiento del sistema a lo largo del tiempo, también es posible detectar posibles fallas, incluidas fugas de refrigerante. Adicionalmente permite planificar programas de mantenimiento parcial y total.

Se recomienda tener el registro de diferentes parámetros en diferentes períodos, este procedimiento está muy ligado al plan de mantenimiento preventivo a realizar en el equipo RAC. Se recomienda realizar un registro diario, semanal, mensual, trimestral, semestral y anual. A continuación, un formato general para realizar el registro de parámetros:

Tabla 7. Formato general para el registro de parámetros

EMPRESA			
Ciudad:	Hora:	Fecha:	Temperatura Ambiente:
Sistema o equipo:		Refrigerante empleado:	
PARÁMETRO	UNIDAD	Valor	Observaciones
Presión de succión	Psig		
Presión de descarga	Psig		
Temperatura de descarga	°C		
Temperatura de condensación	°C		
Temperatura de evaporación	°C		
Temperatura de succión	°C		
Temperatura ambiente del espacio enfriado	°C		
Corriente del compresor	A		
Voltaje del sistema	V		
Intervención realizada por:			Firma:

5.3. Control y registro de fugas

La detección temprana y reparación de fugas de refrigerante es un aspecto crítico tanto desde el punto de vista técnico como ambiental, ya que incide directamente en la eficiencia operativa, la



seguridad del sistema y la sostenibilidad. Desde el punto de vista ambiental, los refrigerantes —especialmente aquellos con alto Potencial de Calentamiento Atmosférico (PCA)— tienen un impacto climático cuando se liberan, contribuyendo de forma significativa al calentamiento global.

Desde el punto de vista técnico, una fuga provoca pérdida de presión y masa de refrigerante, lo que altera el ciclo termodinámico, reduce la capacidad de enfriamiento, obliga al compresor a trabajar con mayor esfuerzo y acelera el desgaste de los componentes. Adicionalmente, las fugas no controladas implican un aumento en la frecuencia de recargas, lo que eleva los costos de operación y mantenimiento, y expone al sistema a contaminantes que pueden acortar su vida útil.

5.3.1. Procedimientos para identificar fugas

Antes de describir los métodos específicos, es importante entender que la identificación de fugas es un paso preventivo esencial que debe integrarse en el plan de mantenimiento, ya que permite anticipar fallos, reducir pérdidas de refrigerante y cumplir con las normativas ambientales. Por ello, se recomienda implementar inspecciones programadas para identificar fugas, que incluya la verificación de las conexiones, uniones y válvulas, y puntos comunes de fuga. Luego de lo anterior hacer uso de distintos métodos de identificación de fuga de refrigerante adecuados para las condiciones del sistema, el entorno y el tipo de refrigerante:

- **Equipos de detección electrónica:** Utilizados para identificar fugas incluso en cantidades mínimas, empleando sensores que reaccionan ante la presencia de moléculas de refrigerante, permitiendo la localización precisa y rápida.
- **Detección por ultrasonido:** Basada en la captación de ondas sonoras de alta frecuencia generadas por el gas al escapar, ideal para ambientes ruidosos o donde otras técnicas no son efectivas.
- **Soluciones jabonosas:** Método visual y económico que consiste en aplicar una mezcla de agua con detergente en las zonas sospechosas; la aparición de burbujas indica la existencia de una fuga.

Si se identifican fugas de refrigerante, estas deben ser reparadas inmediatamente, siguiendo las prácticas seguras y normativas vigentes. Tenga presente que el refrigerante debe ser recuperado antes de cualquier intervención al sistema que implique desconexión de elementos mecánicos o tuberías.

Tenga en cuenta que se debe documentar cada inspección, incluyendo fecha, técnico responsable, método de detección utilizado y resultados obtenidos. Mantener un historial de las reparaciones realizadas, indicando la causa de la fuga y el volumen de refrigerante recuperado o recargado. Usar estos registros para identificar patrones recurrentes y establecer planes de mantenimiento preventivo.

La combinación de una verificación precisa de la carga de refrigerante y un control estricto de las fugas permite no sólo optimizar el rendimiento del sistema, sino también reducir el impacto ambiental y los costos asociados al consumo de energía y reposición de refrigerante.



5.4. Mantenimiento preventivo programado

5.4.1. Generalidades del mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo programado consiste en ejecutar inspecciones, ajustes y limpiezas a intervalos definidos, con el objetivo de evitar fallos prematuros y mantener el sistema RAC operando dentro de los parámetros de diseño. Este tipo de mantenimiento se realiza antes de que aparezcan fallas visibles, lo que permite prevenir paradas no planificadas, optimizar el rendimiento energético y proteger la integridad de los componentes.

Asegúrese de que quien realiza la intervención del equipo durante la etapa de operación del mismo, cuente con el conocimiento técnico necesario, respaldado por experiencia y formación adecuada; posea la certificación en competencias laborales vigentes y relacionados con el trabajo que realizará; haga uso correcto de los elementos de protección personal (EPP) y de seguridad requeridos, conforme a las normativas aplicables; y disponga de las herramientas, instrumentos y equipos necesarios para llevar a cabo la actividad de manera segura, eficiente y conforme a los estándares de seguridad y procedimientos técnicos.

Las principales actividades durante el mantenimiento preventivo incluyen:

a) Limpieza de serpentines de condensador y evaporador

- El polvo, grasa y suciedad acumulada en las aletas reducen el intercambio térmico y obligan al compresor a trabajar más, aumentando el consumo eléctrico.
- La limpieza periódica con aire a presión o productos específicos mantiene la transferencia de calor eficiente.

b) Verificación y reemplazo de filtros

- Los filtros de aire y de línea de refrigerante evitan la entrada de partículas que puedan obstruir capilares, válvulas o dañar el compresor.
- Cambiarlos según la recomendación del fabricante asegura flujo de aire y refrigerante sin restricciones.

c) Ajuste de conexiones mecánicas y eléctricas

- Vibraciones y dilataciones térmicas pueden aflojar conexiones en tuberías, tornillería de soportes y terminales eléctricos.
- Revisar y ajustar previene fugas, arcos eléctricos y desgaste por fricción.

d) Lubricación de componentes móviles

- Motores de ventiladores, rodamientos y otros elementos móviles requieren lubricación periódica para reducir la fricción, el desgaste y el sobrecalentamiento.

e) Revisión de aislamiento térmico

- El aislamiento deteriorado en tuberías de succión provoca condensación, pérdida de eficiencia y aumento de carga térmica.



- Sustituirlo o repararlo evita pérdidas energéticas y daños por humedad.

f) Comprobación de parámetros eléctricos y mecánicos

- Medir voltajes, corrientes, factores de potencia y temperaturas de operación para asegurar que el equipo no trabaje en condiciones fuera de diseño.
- Detectar desviaciones tempranas permite corregir problemas antes de que escalen a fallos mayores.

5.4.2. Beneficios del mantenimiento preventivo programado

- Aumenta la eficiencia energética y reduce el consumo eléctrico.
- Prolonga la vida útil de compresores, ventiladores y otros componentes críticos.
- Disminuye la frecuencia y el costo de reparaciones correctivas.
- Mejora la confiabilidad operativa del sistema y reduce el riesgo de paradas inesperadas.
- Contribuye a cumplir con regulaciones ambientales y de seguridad.
- Previene fugas de refrigerante.

5.4.3. Importancia de llevar bitácoras de mantenimiento en sistemas RAC

Llevar una bitácora de mantenimiento para sistemas de refrigeración, aire acondicionado y climatización (RAC) es una práctica fundamental para garantizar la eficiencia, la seguridad y la vida útil de los equipos. Este registro sistemático permite documentar cada intervención técnica, los repuestos utilizados, las condiciones operativas y cualquier hallazgo relevante, lo que facilita la toma de decisiones basadas en datos reales.

Razones para implementar una bitácora de mantenimiento:

Trazabilidad de intervenciones: Permite conocer el historial completo del equipo, facilitando el diagnóstico de fallas recurrentes.

Cumplimiento normativo: En muchos países y proyectos internacionales, la documentación de mantenimientos es un requisito para auditorías y certificaciones.

Optimizar la eficiencia energética: El seguimiento de parámetros y actividades de mantenimiento ayuda a detectar desviaciones en el rendimiento y corregirlas a tiempo.

Prevención de fallas: Un historial bien documentado ayuda a planificar mantenimientos preventivos, evitando paradas no programadas.

Control de costos: Permite evaluar el gasto en repuestos y mano de obra, ayudando a optimizar el presupuesto.

Seguridad del personal: Garantiza que el equipo opere bajo condiciones seguras, minimizando riesgos.

5.5. Mantenimiento correctivo o reparación de un equipo RAC

El mantenimiento correctivo en sistemas de refrigeración y aire acondicionado (RAC) se refiere al conjunto de acciones técnicas realizadas para restablecer el funcionamiento normal de un equipo después de haber presentado una falla, avería o pérdida de desempeño. A diferencia del mantenimiento preventivo, que se realiza de manera programada para evitar incidentes, el correctivo responde a una necesidad inmediata de reparación para garantizar la continuidad operativa y la seguridad del sistema.

Este tipo de mantenimiento implica la identificación y diagnóstico de la falla, la sustitución o reparación de componentes dañados (compresores, ventiladores, filtros, tuberías,



controles, (entre otros), y la verificación de que el equipo cumpla nuevamente con los parámetros de eficiencia, seguridad y rendimiento establecidos por el fabricante. Además, debe contemplar la recuperación y manejo ambientalmente adecuado de los refrigerantes, en cumplimiento con las normas técnicas y ambientales vigentes, y ser realizado únicamente por personal capacitado y certificado.

La importancia del mantenimiento correctivo radica en minimizar los tiempos de inactividad, prolongar la vida útil de los equipos, reducir pérdidas económicas y asegurar el confort o la cadena de frío, según la aplicación del sistema RAC. Asimismo, constituye una oportunidad para identificar causas recurrentes de fallas y retroalimentar los programas de mantenimiento preventivo.

5.6. Recuperación de refrigerantes: buena práctica durante el mantenimiento

La recuperación de refrigerantes es una práctica fundamental que debe realizarse antes de cualquier intervención que implique el cambio de una parte o componente en un sistema de refrigeración y aire acondicionado (RAC). Este procedimiento consiste en extraer de manera segura y controlada el refrigerante contenido en el equipo, evitando su liberación a la atmósfera y garantizando tanto la protección ambiental como la seguridad del personal técnico.

La recuperación debe realizarse utilizando equipos certificados y en cumplimiento de los protocolos establecidos por los fabricantes y la normativa vigente. De esta manera, se asegura la integridad del refrigerante, el cual debe posteriormente reciclarse o regenerarse para su aprovechamiento seguro, o bien enviarse a disposición final adecuada. Asimismo, esta práctica debe estar a cargo de personal capacitado y certificado, garantizando un manejo responsable y profesional que contribuya a la sostenibilidad del sector RAC.

5.6.1. Generalidades de la recuperación de refrigerantes

La recuperación es el proceso en el que se extrae por completo el refrigerante del sistema sin liberarlo a la atmósfera, utilizando equipos apropiados, con el fin de almacenarlo de manera segura para su posterior reciclaje, regeneración o disposición final. Este proceso se realiza para situaciones donde el sistema presenta fugas de refrigerante, cambiar una parte mecánica del equipo, y requiere mantenimiento, recargar con otro refrigerante compatible y finalmente reciclarlo o regenerarlo. Para este procedimiento se requieren las siguientes herramientas:

Ilustración 5. Equipos de Protección adecuado (EPPs)



Ilustración 6. Herramientas para la recuperación de refrigerantes



5.6.2. Procedimiento para realizar la recuperación de refrigerante

- Utilizar el EPP (Equipo de Protección Personal) apropiado para trabajos en el área de refrigeración como: lentes con protección lateral, guantes de seguridad, camisa larga y pantalón jean, botas de seguridad.
- Poseer el entrenamiento para hacerlo.
- Se sugieren 2 métodos: Recuperación por vapor y/o líquido (Directo) y Push and Pull.

a) Recuperación por vapor y/o líquido (Método directo)

Paso 1: Desconectar la alimentación eléctrica del equipo.

Paso 2: Conectar la manguera azul a la succión, manguera roja a la descarga, y la manguera amarilla de servicio en el ducto de entrada del equipo recuperador, conectar otra manguera de la salida hacia el cilindro recuperador.

Paso 3: Abrir las válvulas de paso de todas las mangueras conectadas, también abrir el cilindro recuperador.

Paso 4: Colocar el cilindro sobre una balanza para control de cantidad de masa recuperada.

Paso 5: Encender el equipo recuperador y dejar que se realice la extracción del refrigerante monitoreando la balanza y el manómetro.

Paso 6: Cerrar todas las válvulas y realizar purga de las mangueras antes de desconectarlas.

Paso 7: Registrar la cantidad recuperada y etiquetar el cilindro detallando la información pertinente.

b) Método push and pull

Paso 1: Desconectar la alimentación eléctrica.

Paso 2: Conectar la manguera azul a la succión y al puerto de salida del equipo recuperador, del puerto de entrada conectar una manguera hacia la válvula de vapor del cilindro recuperador y finalmente conectar de la válvula de líquido del cilindro hacia la descarga del sistema.

Paso 3: Abrir las válvulas de paso de todas las mangueras conectadas, también abrir el cilindro recuperador.



Paso 4: Colocar el cilindro sobre una balanza para control de cantidad de masa recuperada.

Paso 5: Encender el equipo recuperador y dejar que se realice la extracción del refrigerante monitoreando la balanza y el manómetro.

Paso 6: Cerrar todas las válvulas y realizar purga de las mangueras antes de desconectarlas.

Paso 7: Registrar la cantidad recuperada y etiquetar el cilindro detallando la información pertinente.

Para ambos casos el sensor de sobrellenado del cilindro debe estar conectado al equipo recuperador y tener los cuidados de asegurar las uniones de las mangueras para evitar fugas de refrigerante durante el proceso.

Finalmente realizar un reporte con los datos informativos del sistema y la cantidad de refrigerante recuperado.

5.6.3. Reciclaje de refrigerantes

El proceso de reciclaje de refrigerantes incluye la separación del aceite, y la humedad mediante filtro deshidratador, este acompaña al proceso de recuperación de refrigerante. Se limita a un procedimiento básico de limpieza, por lo tanto, está considerado para su posible reutilización inmediata o almacenamiento temporal. Cabe resaltar que según el REGLAMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL DE SUSTANCIAS AGOTADORAS DEL OZONO en su capítulo III, indica que la Autoridad Ambiental Competente a nivel departamental es la que puede autorizar a técnicos en refrigeración y climatización a realizar los procedimientos de recuperación y reciclaje por estar debidamente capacitados y contar con el equipo adecuado. Además, el técnico debe contar con su RENTRAA (Registro Nacional para Trabajos en Refrigeración y Aire Acondicionado) requisito para poder manejar SAO y otros refrigerantes contemplados en el Protocolo de Montreal y sus enmiendas.

5.6.4. Regeneración de refrigerantes

Consiste en realizar una limpieza más profunda y profesional del aceite, acidez, humedad, sólidos suspendidos e impurezas; asegurando que el refrigerante regenerado sea idéntico al original.

El refrigerante regenerado pasa por procesos de destilación, deshidratación y pureza química para obtener al menos el 98% de pureza para su empleo o reenvasado, convirtiéndose en una solución sostenible ya que reduce la compra de refrigerante nuevo, la liberación de refrigerante a la atmosfera, anulando prácticamente las emisiones directas.

5.7. Reposición de refrigerantes

La reposición o recarga de refrigerante en sistemas RAC, en primer lugar, indica que el sistema durante todo el tiempo de trabajo ha generado la necesidad de algún punto de fuga, por tanto, es necesario ubicar y subsanar la falla. Una vez solucionada la fuga, realizar los siguientes pasos con cuidado.

La necesidad de reponer o recargar refrigerante en un sistema de refrigeración y aire acondicionado (RAC) puede ser un indicio de que el equipo ha presentado una fuga durante su operación, el resultado de una reparación en la que fue necesario sustituir alguna parte mecánica, o bien la consecuencia de un proceso previo de recuperación de refrigerante. Por esta razón, antes de proceder con la recarga, es indispensable identificar y corregir la falla



que originó la pérdida o recuperación del gas. Sólo una vez que se haya hecho la reparación, y tras verificar la hermeticidad del sistema junto con el proceso de vacío, se debe continuar con el proceso de recarga siguiendo los pasos adecuados y aplicando buenas prácticas, a fin de garantizar la seguridad, la eficiencia del equipo y la protección del medio ambiente:

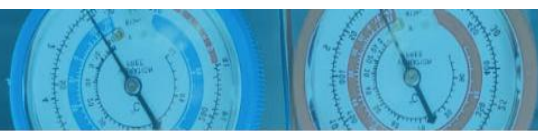
• **Utilizar el EPP (Equipo de Protección Personal) apropiado para trabajos en el área de refrigeración como:** lentes con protección lateral, guantes de seguridad, camisa larga y pantalón jean, botas de seguridad.

Con el sistema hermético con el nivel de vacío determinado para el tipo de aceite entre 250 a 500 micras de mercurio (μHg), se procede a realizar el proceso de carga de refrigerante, de la siguiente manera:

- ✓ El cilindro de refrigerante debe estar sobre una balanza para controlar la cantidad de masa que ingrese al sistema, y conectar mediante la manguera de servicio amarilla al manómetro.
- ✓ Con el compresor apagado, cargar refrigerante en fase líquida por medio de una válvula de servicio en el recibidor de líquido hasta igualar las presiones de alta con la de baja. Cerrar la válvula de servicio y encender el compresor para permitir al sistema fluir con la nueva carga de refrigerante por unos minutos. Realizar esta acción hasta llegar a las presiones de trabajo establecidas para el tipo de refrigerante empleado.
- ✓ Para finalizar, por unos minutos monitorear el sistema observando las presiones y temperaturas operativas verificando los rangos establecidos.

5.8. Herramientas y equipos recomendados para llevar a cabo la intervención de un equipo RAC

Para una operación eficiente y segura de los sistemas RAC, se requieren una serie de herramientas y equipos específicos del área. La disponibilidad y calidad de estos, permitirá una operación segura por parte del personal encargado, además de permitir obtener lecturas básicas que proporcionen información sobre el funcionamiento del sistema instalado. A continuación, un listado de herramientas y equipos indispensables para la operación de sistemas RAC:



EQUIPOS ESPECIALIZADOS	
Bomba de vacío Vacuómetro Detector de fugas Balanza de carga Analizador de refrigerantes Recuperador de refrigerantes	
HERRAMIENTAS	
Corta tubos Doblador de tubos Alicates sellador Alicates pinchador Juego de abocinado Llave ratchet	

5.9. Buenas prácticas de operación para reducir el consumo energético

El consumo energético de los sistemas de refrigeración y aire acondicionado (RAC) no depende únicamente de la eficiencia de los equipos instalados, sino también de la forma en que son utilizados y operados en el día a día. Los hábitos de los usuarios y operadores tienen un impacto directo en el rendimiento de los sistemas, pudiendo generar ahorros significativos de energía cuando se aplican prácticas adecuadas, o incrementos considerables en el gasto eléctrico y en los costos de operación si se ignoran. Adoptar buenas prácticas de operación representa una medida costo-efectiva que, además de optimizar el desempeño del sistema, contribuye a la protección del medio ambiente y al alargamiento de la vida útil de los equipos.

A continuación, se presentan acciones prácticas, de bajo costo y fáciles de implementar por parte de los operadores y usuarios de sistemas RAC. Estas acciones constituyen la base operativa para mejorar la eficiencia energética y alargar la vida útil de los equipos. Para facilitar su aplicación, se recomienda estructurarlas en subtemas claros y concretos:

- **Manejo adecuado de puertas y accesos:** Las aperturas constantes y prolongadas son una de las causas de pérdida de frío y aumento en el consumo energético. Por tanto, se deben cerrar inmediatamente cerrar estos accesos después de entrar o salir, usar cortinas hawaianas, de ser posible instalar puertas con cierre automático y verificar que los accesos tengan un sellado hermético.
- **Organización del espacio refrigerado:** El aire libre debe circular libremente por el ambiente, una mala organización obstruye el flujo del aire y obliga al sistema a trabajar

más de lo necesario. Es recomendable evitar la sobrecarga, mantener espacio entre los productos y no ubicar objetos frente a las rejillas del evaporador.

- **Control de la temperatura y humedad:** Ajustar la temperatura correcta o setpoint permitirá que el sistema no trabaje por demás. Los parámetros de humedad deben estar acorde al tipo de producto que se desea conservar. Tener estos parámetros correctamente establecidos permite un trabajo eficiente del sistema RAC.

- **Ubicación y entorno de los equipos:** Una mala ubicación del equipo puede influir en su rendimiento, se recomienda preferiblemente instalar la unidad condensadora en un lugar sombreado y protegido de las inclemencias climáticas, dejar al menos 30 cm de espacio libre alrededor del equipo, no instalar equipos que generen calor como hornos o estufas cerca del equipo.

- **Mantenimiento operativo rutinario:** Realizar la limpieza periódicamente filtros y serpentines, verificar ventiladores y niveles de refrigerante, reportar a tiempo ruidos inusuales o variaciones de desempeño.

Ilustración 7. Mantenimiento de aire acondicionado



- **Capacitación y concienciación del personal:** Es indispensable que los operadores comprendan el impacto de sus acciones diarias en la eficiencia del sistema, desarrollen hábitos responsables como el cierre inmediato de puertas y mantengan una actitud activa en la detección y reporte de anomalías. De esta manera, se fomenta una cultura de eficiencia energética y de cuidado del equipo.

- **Uso de sistemas de monitoreo y alarmas:** Estos mecanismos permiten detectar a tiempo desviaciones o fallas, evitando pérdidas de energía y posibles daños en los equipos. Entre las acciones recomendadas se incluyen la implementación de alarmas de puerta abierta, la instalación de sensores que avisen variaciones de temperatura y humedad, así como la integración de sistemas de gestión energética para visualizar el consumo en tiempo real.

6. DISPOSICIÓN FINAL DEL REFRIGERANTE Y DEL EQUIPO RAC

6.1. Disposición final de equipos de refrigeración y aire acondicionado

Todos equipos y maquinarias tienen un término de tiempo vida. Por lo que cuando estos equipos de refrigeración y aire acondicionado llegaron al final de su vida útil, antes del desmontaje, reciclaje o eliminación es OBLIGATORIO realizar la recuperación del refrigerante que posee en cilindros de recuperación, evitando la mezcla con otros gases de diferente composición, y garantizar su CONTENCIÓN hasta que sea entregado a un operador de residuos autorizado.



Para considerar la baja administrativa y física del sistema RAC, es necesario tomar en cuenta previamente ciertos criterios técnicos y ambientales que garanticen la seguridad operativa, el cumplimiento de la normativa ambiental y el manejo responsable del refrigerante y de sus residuos.

Ilustración 8. Mantenimiento de refrigerador doméstico



A fin de identificar el momento de inicio del proceso de baja administrativa y la operativización de su disposición, se deberán considerar los siguientes criterios o situaciones, descritos a continuación:

- Obsolescencia técnica (ya no se encuentran repuestos)
- Fugas reiteradas
- El refrigerante empleado en el sistema está prohibido
- Daño irreparable en el compresor
- Deterioro avanzado en el circuito frigorífico
- Eficiencia energética muy baja
- Costo de mantenimiento excesivo

Si un sistema RAC cumple uno de estos criterios o situaciones, por lo tanto, se debe considerar disposición final que requiere una planificación para un desmontaje correcto, seguidamente se describe el procedimiento a seguir:

- Desenergizar y aislar el sistema eléctrico del equipo
- Recuperación total de refrigerante
- Evacuación total del aceite
- Desconexión de componentes (desenroscar o cortar las uniones de tuberías)
- Separar y sellar temporalmente los componentes para evitar humedad y aire
- Retirar todos los componentes eléctricos y electrónicos
- Desmontar los paneles de pared y techo
- Realizar un reporte detallado del desmontaje

6.2. Disposición final del refrigerante como residuo

En Bolivia, los sistemas RAC son clasificados como residuos de aparatos eléctricos y electrónicos una vez que se desmantelan o se separan algunos accesorios son considerados residuos sólidos peligrosos debido a sus impactos potenciales sobre la salud humana y el medio ambiente, en especial por su contribución al agotamiento de la capa de ozono y al calentamiento global, los cuales deben recibir la disposición final de los refrigerantes por lo que ya no pueden ser reutilizados, reciclados o regenerados debe realizarse bajo un marco regulatorio que los reconoce como residuos sólidos que requieren un manejo ambientalmente adecuado.

De acuerdo con la normativa boliviana en materia de gestión integral de residuos, principalmente la Ley N.º 755 de Gestión Integral de Residuos promulgada en Bolivia el 28 de octubre de 2015 y el Decreto Supremo N.º 2954, 19 de octubre de 2016, establecen las responsabilidades y la gestión operativa de los mismos.

Por lo tanto, conforme a la normativa en materia el generador del residuo debe responsabilizarse del tratamiento o disposición final, a través de un operador autorizado el mismo esta autorizado para la gestión operativa de dicho material, es decir la disposición final de los refrigerantes se realice conforme a los principios de prevención, minimización y responsabilidad extendida del generador.

Se debe realizar la selección de operadores autorizados en función de la caracterización del residuo consignada en el registro correspondiente y de la autorización emitida por la autoridad ambiental competente—como la Gobierno Autónomo Departamental— conforme a la normativa aplicable, garantizando de esta manera el cumplimiento de la legislación ambiental vigente.

Conforme a la normativa la gestión adecuada de los refrigerantes en Bolivia no sólo responde a una obligación legal, sino que constituye una buena práctica para la protección ambiental y el cumplimiento de los compromisos internacionales del país en el marco del Protocolo de Montreal y la Enmienda de Kigali.

6.3. Tratamiento del cilindro RAC fuera de uso

Con relación al tratamiento de envases de refrigerantes RAC fuera de uso, estos pueden ser considerados como residuos especiales es decir chatarra, siempre que previamente se realice la recuperación total de su contenido y se verifique que el envase no mantiene remanentes del refrigerante.

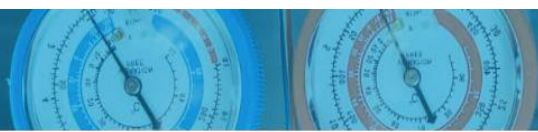
En este sentido, la Guía Q del Instituto de Refrigeración, Aire Acondicionado y Calefacción – AHRI establece metodologías técnicas para la limpieza y acondicionamiento previo de los envases, antes de su gestión como residuos especial. Esta guía describe el procedimiento para recuperar el refrigerante contenido en los cilindros y realizar su adecuada despresurización y limpieza, permitiendo posteriormente su tratamiento y disposición como chatarra.

Para mayor detalle, el documento puede consultarse en el siguiente enlace: https://www.ahrinet.org/sites/default/files/202211/AHRI_Guideline_Q_2016.pdf).

7. CONCLUSIONES

Esta guía presenta un marco integral para la gestión eficiente de sistemas RAC y del refrigerante que contienen, implica una visión completa que abarca desde la selección técnica del sistema, pasando por las buenas prácticas para su instalación, operación, mantenimiento, y disposición final.

Se ha demostrado que desde el punto de vista técnico ambiental las emisiones directas por fuga de refrigerante y las emisiones indirectas por consumo energético, impactan



significativamente en el calentamiento global, destacando la necesidad de calcular el TEWI para una evaluación del impacto total que ocasionan los sistemas RAC. También se ratifica que el Protocolo de Montreal y sus actualizaciones siguen siendo potentes pilares para la eliminación progresiva de SAO, y que, según sus cronogramas de eliminación, este promueve la adopción de refrigerantes de bajo PCG como los naturales o hidrocarburos.

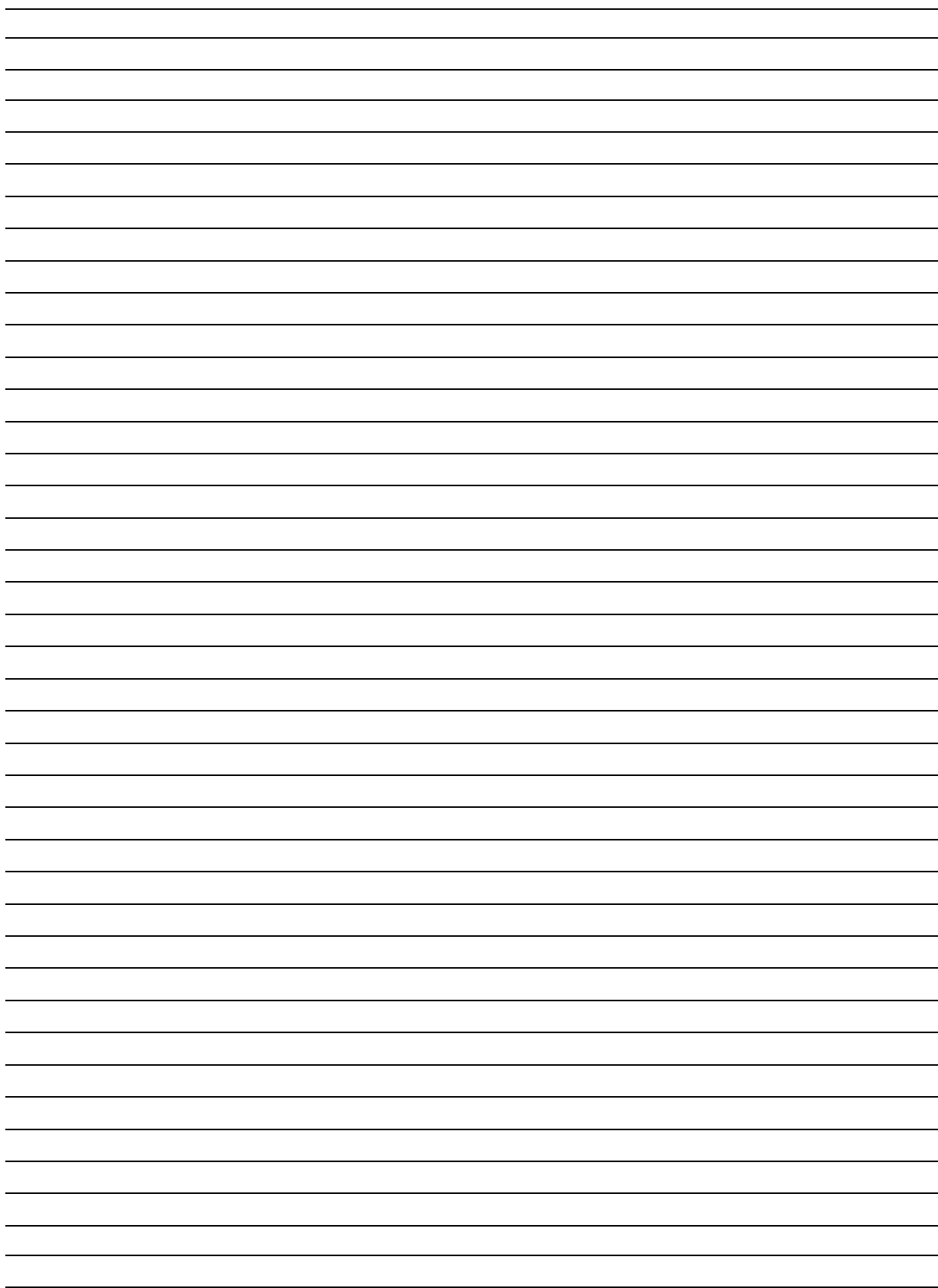
La guía propone consideraciones sobre las buenas prácticas en la instalación y operación de sistemas RAC, que incluyen detección de fugas, verificación de las condiciones de funcionamiento, parámetros a monitorear para implementar procedimientos de mantenimiento preventivo y predictivo, acompañados por pequeñas estrategias para alcanzar un ahorro energético.

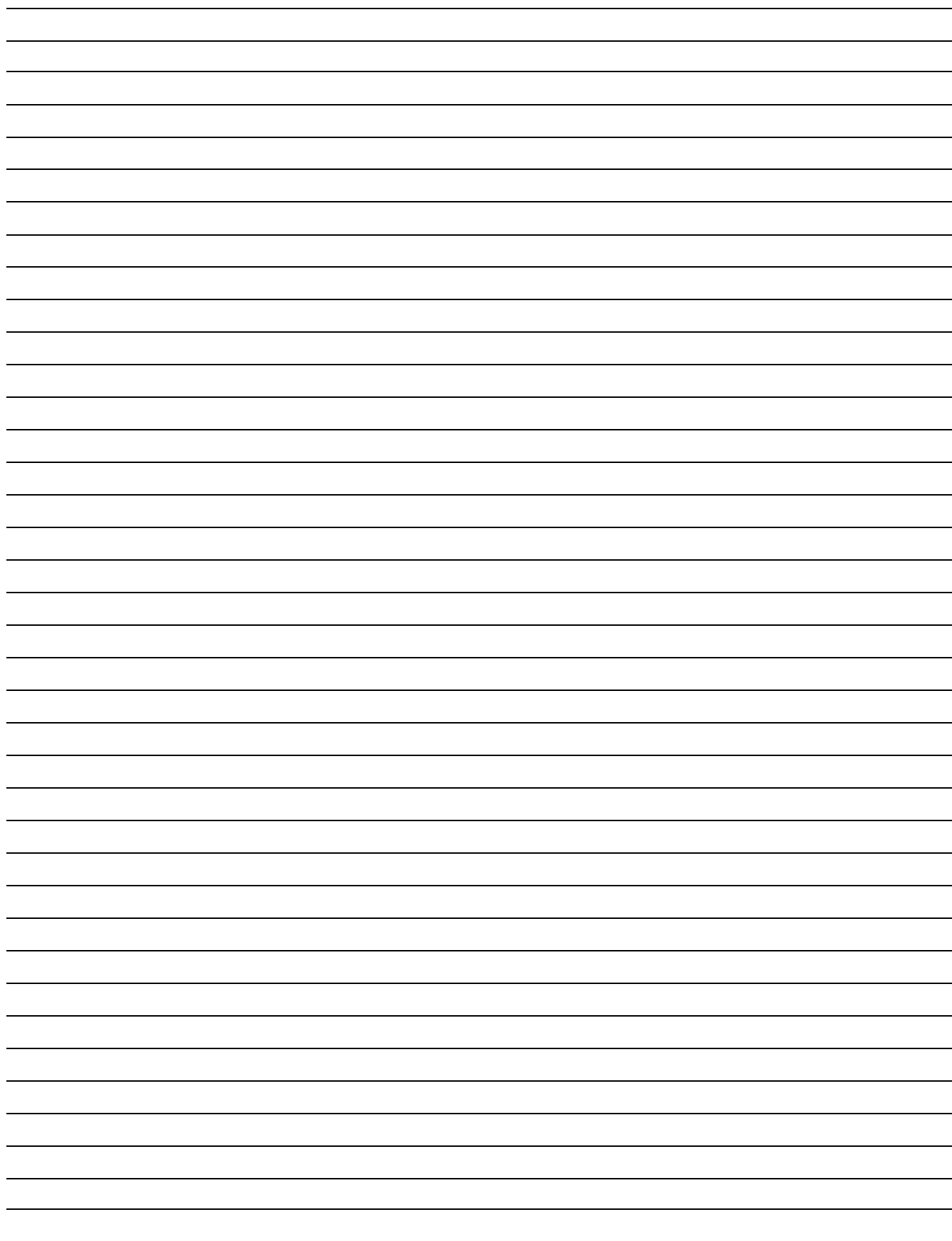
También se dan orientaciones sobre las buenas prácticas sobre el manejo de refrigerantes desde los procedimientos correctos de recuperación tomando en cuenta todos los aspectos técnico-ambientales, así también el marco de certificación y autorización por autoridades para personal que trabaja y manipula los refrigerantes a nivel nacional.

Finalmente se habla de un compromiso integral de todos los usuarios finales que interactúan con sistemas RAC. Quedando el compromiso por parte de alta gerencia y personal técnico en apoyar y participar de forma directa en la toma final de decisiones, asegurando se lleven a cabo todas las medidas de eficiencia y seguridad ambiental propuestas en esta guía, garantizando la designación y suministro de recursos humanos, tecnológicos y financieros.

Como recomendación final, se propone priorizar el uso de refrigerantes de bajo PCA, y realizar la transición de forma progresiva de acuerdo a los cronogramas establecidos para no llegar con lo justo a etapas finales obligatorias para la restricción de refrigerantes. En síntesis, esta guía no sólo entrega herramientas técnicas, sino que también invita a un cambio sobre la imagen que aún presenta la refrigeración en la industria; la refrigeración debe ser sinónimo de eficiencia, responsabilidad ambiental e innovación. La transición hacia sistemas limpios y eficientes es un compromiso inevitable de todos para garantizar un futuro sostenible.









**MINISTERIO DE
PLANIFICACIÓN DEL
DESARROLLO Y
MEDIO AMBIENTE**

Av. Mariscal Santa Cruz N° 1092 Casilla N° 12814
Teléfono: (591) 50850019
Fax: (591-2) 2312641
La Paz - Bolivia



**COMISIÓN GUBERNAMENTAL DEL
OZONO**

Calle 6 N° 100 esq. Av. Costanerita
ZONA OBRAJES
La Paz - Bolivia



**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL**