

Artículo Técnico

Fugas de gas refrigerante en instalaciones

Elaborado por AKO para



Contenido

1.	Introducción.....	3
1.1	Situación actual y nuevas necesidades	3
1.2	Contexto social y cambio cultural	3
2.	Fugas en instalaciones frigoríficas.....	4
3.	Causas de las fugas en una instalación frigorífica	5
4.	Localización de fugas en instalaciones.....	6
5.	Consecuencias de las fugas de refrigerante en instalaciones frigoríficas	7
5.1	Consecuencias para el funcionamiento frigorífico	7
5.2	Consecuencias económicas.....	9
5.3	Consecuencias medioambientales.....	11
5.4	Consecuencias para la seguridad.....	12
6.	Mantenimiento reactivo de fugas de gas	13
7.	Seguridad de personas y reducción de fugas.....	14
8.	Tipos de fugas de gas	15
8.1	Fugas estables	16
8.2	Fugas nocturnas	16
8.3	Fugas escaladas.....	17
8.4	Fugas en el desescarche	17
8.5	Microfugas.....	18
8.6	Fugas repetitivas.....	18
9.	Referencias	19

1. Introducción

1.1 Situación actual y nuevas necesidades

Las fugas de gas refrigerante suponen actualmente uno de los mayores problemas de la refrigeración industrial y comercial, motivados en gran parte por la actual inestabilidad del mercado de gases refrigerantes, sus precios y disponibilidad actual y futura. Es por ello que posibilitar la detección temprana de fugas de gas refrigerante y monitorizar el estado de las instalaciones es crucial en el contexto actual de la refrigeración.

1.2 Contexto social y cambio cultural

En las últimas décadas, la creciente concienciación social y política sobre el medio ambiente en general y el calentamiento global en particular ha permitido que las naciones impulsaran los protocolos de Montreal (1988), Kyoto (1992) y una subsecuente serie de acuerdos y enmiendas de este último. Todo ello ha conducido hasta la actual desaparición de muchos refrigerantes CFC y HCFC de alto impacto en la capa de ozono en los países más desarrollados.

A través de distintos reglamentos como es la F-Gas en Europa, la paulatina reducción de gases refrigerantes de impacto medioambiental está imponiendo un cambio radical en el uso, coste e impacto de los refrigerantes en el entorno de la refrigeración. Este contexto, rápidamente cambiante, está provocando un encarecimiento progresivo de los gases refrigerantes, especialmente HFC, que, en una gran mayoría de instalaciones de refrigeración comercial hoy existentes, pueden ser todavía una de las opciones tecnológicas más viables técnica y económicamente, siempre y cuando se consiga minimizar e incluso erradicar las hoy todavía muy comunes fugas de gas refrigerante de las instalaciones.

Consecuentemente, la capacidad de evitar fugas de dichos gases HFC a la atmósfera es de extrema importancia para todos los agentes de la refrigeración, puesto que dichas fugas tienen un gran impacto medioambiental, económico y operativo. Incluso más allá de los gases HFC y su actual encarecimiento, la presente situación está poniendo también de relieve la gran relación entre la eficiencia energética de las instalaciones frigoríficas y las fugas de gas refrigerante, con una sensible disminución de la eficiencia del sistema a causa de las pérdidas de refrigerante en la instalación.

2. Fugas en instalaciones frigoríficas

La actualidad y el futuro a corto, medio y largo plazo, pasa por incorporar nuevas herramientas, técnicas, procedimientos, componentes y sistemas de detección y gestión para conseguir minimizar las fugas de gases refrigerantes en todas las aplicaciones, con especial mención a las aplicaciones de refrigeración comercial ya existentes, donde el problema de fugas es especialmente grave.

Existen múltiples fuentes que describen extensamente la grave problemática relacionada con las tasas de fugas en la refrigeración, como son investigaciones de Greenchill y la EPA (Environmental Protection Agency), que estiman en un **25%** [1] la tasa anual media de fugas en supermercados. Añadido a esto, en la Tabla I realizada por el Centro de Eficiencia Energética de Sistemas, en febrero de 2017 [2], se observa que la refrigeración comercial presenta tasas de fugas de entre el 15% y hasta el 33% anual en promedio.

Sector	Sub-sector	Tasa de emisión de fugas 2015	Detectado en	Tendencia
Refrigeración doméstico	Neveras, combis y congeladores	0.01%	Equipamientos nuevos	Constante
Refrigeración comercial	Supermercados	28%	Parque instalado	Constante de 30% hasta el 2013
	Hipermercados	33%	Parque instalado	Constante de 35% hasta el 2013
	Unidad condensadora con grupos herméticos de pequeños comercios y máquinas de vending	1%	Equipamientos nuevos	Constante
	Unidad condensadora de pequeños comercios	15%	Equipamientos nuevos	Constante

Tabla I. Fugas en refrigeración doméstica y comercial según [2]

3. Causas de las fugas en una instalación frigorífica

Las instalaciones frigoríficas que funcionan con el ciclo por compresión necesitan de un fluido refrigerante que circula por su interior. Este fluido cambia de estado en el interior de la máquina frigorífica, pasando de vapor a líquido en el condensador y de líquido a vapor en el evaporador.

Debido a las características necesarias en un refrigerante, se dan las siguientes circunstancias:

- Los refrigerantes tienen estado gaseoso (vapor) a la presión y las temperaturas ambientes habituales.
- El refrigerante confinado en la instalación frigorífica (o envase de refrigerante) se encuentra normalmente a una presión superior a la presión atmosférica.

Estas dos circunstancias conducen a la inexorable conclusión que, ante un fallo, por pequeño que este sea, en la estanqueidad del sistema frigorífico, se producirá emisión de refrigerante a la atmósfera, lo que llamamos comúnmente “fuga”.

La estanqueidad total de un sistema frigorífico durante toda su vida útil es muy difícil de conseguir, ya que existen variaciones de presión y temperatura, vibraciones y acciones de mantenimiento que pueden alterar la estanqueidad inicial del sistema

Concretamente, recientes estudios [3] indican que la degradación de la estanqueidad original de la instalación responde mayoritariamente hasta a nueve causas diferenciadas, entre otras:

- Soldaduras imperfectas
- Aprietes imperfectos (insuficientes o excesivos) de tuercas y tornillos
- Tapones de válvulas no instalados
- Incompatibilidad de elementos mecánicos con los aceites de lubricación (retrofit)
- Vibraciones cerca de los compresores
- Dilataciones térmicas (desescarches)
- Corrosión con productos alimenticios (muebles, islas, murales refrigerados, etc.)
- Contacto de metales (cobre-hierro) causando abrasión y/o corrosión galvánica
- Mala suportación de tuberías y estrés mecánico

4. Localización de fugas en instalaciones

En el ámbito de la refrigeración, la eficiencia y seguridad de las instalaciones frigoríficas son de suma importancia. Las fugas no solo comprometen el rendimiento del sistema, sino que también pueden tener graves consecuencias ambientales y económicas.

Las fugas de gas se producen cuando el refrigerante se escapa de su circuito cerrado, ya sea por defectos en los componentes, malas prácticas de mantenimiento o daños accidentales. Identificar y comprender los puntos donde estas fugas ocurren con mayor frecuencia es esencial para implementar medidas preventivas y correctivas eficaces.

Entender dónde y por qué se producen estas fugas es crucial para que los técnicos y operadores puedan mejorar el mantenimiento, la detección temprana y la respuesta ante estos incidentes, asegurando así la longevidad y fiabilidad de los sistemas de refrigeración.

Según análisis del Instituto de Refrigeración de Reino Unido, y basado en un modelo simplificado de una instalación distribuida de refrigeración comercial, se muestra en la Figura I la tendencia de aparición de fugas [4] en este tipo de instalaciones.

FIGURA I. FUENTE DE LAS FUGAS

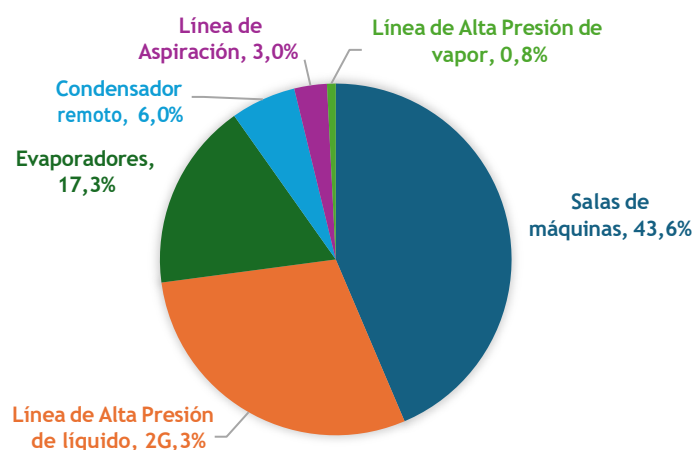


Figura I. Localizaciones donde tienden a aparecer las fugas según [4]

5. Consecuencias de las fugas de refrigerante en instalaciones frigoríficas

Las fugas de refrigerante tienen consecuencias en cuatro aspectos diferenciados, aunque relacionados entre sí:

- Funcionamiento frigorífico
- Económico
- Medioambiental
- Seguridad

5.1 Consecuencias para el funcionamiento frigorífico

Los sistemas frigoríficos de pequeño tamaño con capilar, sin recipiente de líquido, son sistemas frigoríficos de “carga crítica”, ya que cualquier pérdida de refrigerante se traduce inmediatamente en una falta de alimentación de refrigerante al evaporador, disminuyendo inmediatamente la potencia frigorífica, aumentando el consumo del compresor, y llegando rápidamente a una situación en la que el sistema frigorífico no puede mantener la temperatura del recinto refrigerado.

En los sistemas frigoríficos con recipiente de líquido y válvula de expansión, los síntomas de la falta de refrigerante no se manifiestan hasta que se llega a un determinado nivel mínimo de refrigerante en el recipiente. Por debajo de este nivel, por efecto vórtice, empiezan a entrar burbujas de gas en la línea de líquido y se detectan dichas burbujas en el visor de líquido.

Cuando esto sucede, la eficiencia del sistema empieza a deteriorarse, ya que las burbujas de gas en la línea de líquido (flash-gas) disminuyen la capacidad de las válvulas de expansión, aumentan el recalentamiento de los evaporadores y aumentan el tiempo de funcionamiento de los compresores para llegar a la consigna de temperatura. Por tanto, el consumo de energía del sistema aumenta (Ver Figura II).

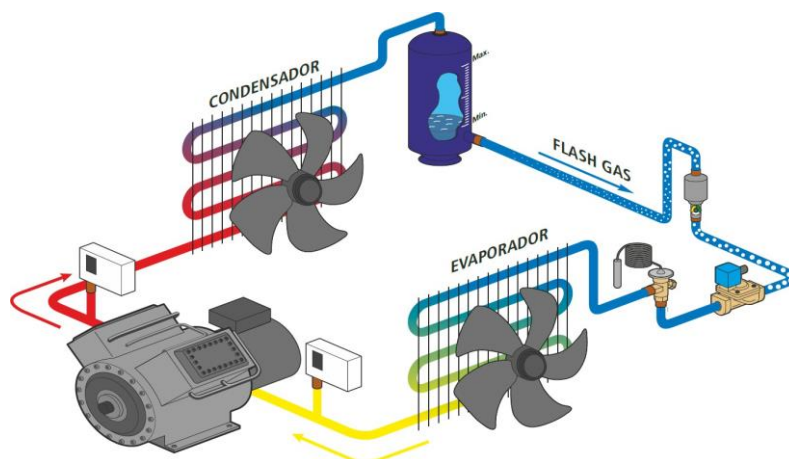


Figura II. Formación de Flash Gas debido a una fuga de gas refrigerante

A partir de ese momento, si la fuga sigue aumentando, llegará un momento en el que las presiones del sistema disminuirán y no se alcanzará la temperatura de consigna deseada en los servicios frigoríficos (falta de refrigeración).

En el caso de centrales frigoríficas, típicamente, el servicio más alejado es el que primero muestra los síntomas de la falta de refrigerante, con una dificultad evidente para llegar a su temperatura de consigna.

5.2 Consecuencias económicas

Como ya se ha visto, las fugas de refrigerante aumentan el consumo energético del sistema frigorífico, aumentando el coste económico de su funcionamiento.

Por ejemplo, un sistema de refrigeración comercial con un 80% de la carga de refrigerante mínima necesaria consume un 15% adicional de energía, de media.

En la Figura III se observa la evolución del aumento de coste de funcionamiento de la instalación frigorífica con el porcentaje de fuga según [5] el Instituto de Refrigeración de Reino Unido en colaboración con GEA.

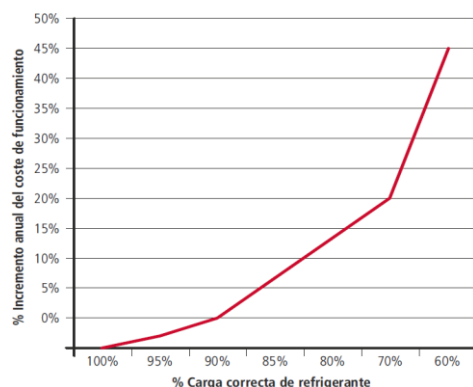


Figura III. Aumento del coste de funcionamiento con las fugas [8]

Acompañado de estudios similares a los realizados por la Universidad Purdue en Indiana [6], donde estudiaron para distintos sistemas, el factor de eficiencia energética estacional (en inglés SEER, Seasonal Energy Efficiency Ratio)

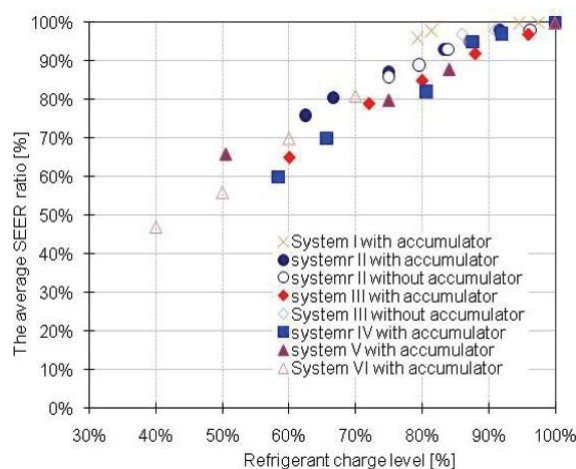


Figura IV. Factor de eficiencia energética basado en la carga de refrigerante

Este consumo energético incrementado adquiere una mayor importancia cuando visualizamos el coste total de propiedad de la instalación (en inglés TCO, Total Cost of Ownership) que el Instituto de Refrigeración de Reino Unido estima en 2/3 partes del total, lo que equivale a un 66% [7] y que puede plantear reducciones drásticas con un mantenimiento preventivo, mejorando los requerimientos técnicos del equipamiento en la instalación y la formación y concienciación del personal.

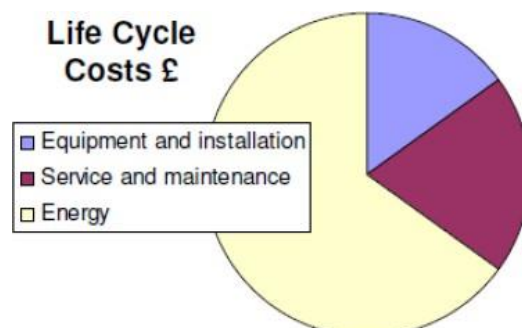


Figura V. Coste total de propiedad de una instalación frigorífica

Tener en cuenta el impacto energético es cada día más importante, en una parte, por unas consecuencias económicas directas, pero también, como se estudia en el apartado siguiente, por las emisiones que suponen a la atmósfera este consumo energético, del que existe una conciencia reducida.

5.3 Consecuencias medioambientales

Los refrigerantes más utilizados en la actualidad tienen, como es el caso de los HFC, contribución al calentamiento global (el llamado efecto invernadero). Su contribución directa al mismo, que se produce en caso de liberación a la atmósfera, se mide con el factor llamado PCG (Potencial de calentamiento atmosférico) también conocido como GWP (del inglés, Global Warming Potential).

En efecto, las moléculas de hidrógeno, flúor y carbono que componen los refrigerantes HFC actúan en la atmósfera análogamente a moléculas de CO₂ absorbiendo e irradiando la radiación térmica de la superficie planetaria de nuevo hacia la Tierra, lo que es conocido como efecto invernadero y que juega un rol principal en el calentamiento global.

La gran estabilidad de dichas moléculas HFC hace que puedan permanecer en la atmósfera durante largos o muy largos períodos de tiempo, de órdenes de varias décadas e incluso siglos, significando un problema de larga duración para el medioambiente. Es por ello, que el PCG indica el equivalente en kgs de CO₂, en términos de calentamiento global, cuando se libera 1 kg del refrigerante considerado.

Por ejemplo, 1 kg de R404A emitido a la atmósfera equivale a 3800 kgs de CO₂ emitidos. Dicho dato tiene en cuenta su actividad de absorción e irradiación térmica así como el tiempo de estabilidad en la atmósfera durante el cual dicha actividad de “efecto invernadero” está presente.

Pero también existe un efecto medioambiental indirecto, debido al aumento del consumo eléctrico, ya mencionado, que ocurre cuando se produce una fuga.

Efectivamente, la generación de electricidad también emite CO₂ de efecto invernadero. La magnitud llamada TEWI (Total Equivalent Warming Impact) recoge los efectos directo e indirecto, sobre el calentamiento de la Tierra, producidos por el funcionamiento de un sistema frigorífico. Por tanto, una fuga en una instalación frigorífica aumenta el TEWI de la misma.

A continuación, encontramos un desglose de las emisiones de gases de efecto invernadero en instalaciones de refrigeración comercial, basado en un estudio de Verisae [7] junto con la asociación de Food Industry FMI, donde se ve reflejado que la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero provienen indirectamente por el consumo eléctrico de la instalación.

Desglose de las emisiones de gases de efecto invernadero en una instalación de refrigeración comercial

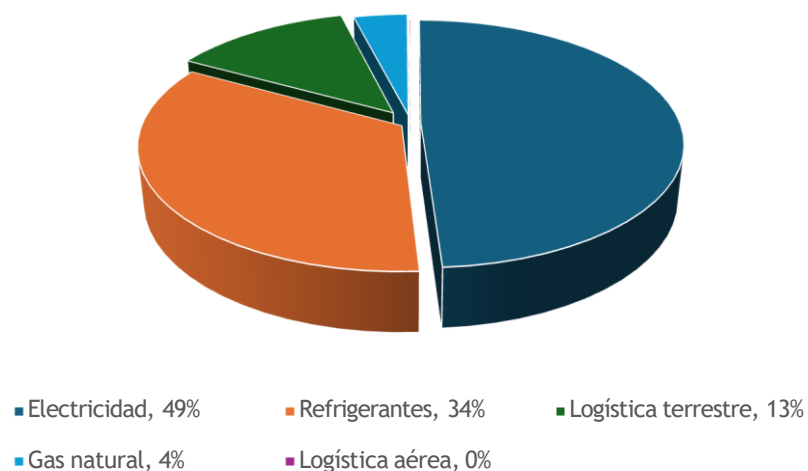


Figura VI. Emisiones de gases de efecto invernadero en retail

5.4 Consecuencias para la seguridad

Una fuga de refrigerante en un espacio cerrado representa un peligro potencial para las personas, puede provocar somnolencia, pérdida de consciencia e incluso asfixia (por desplazamiento del oxígeno) en concentraciones elevadas.

En la actualidad, el aumento del uso de refrigerantes de bajo GWP (gracias a su baja estabilidad en la atmósfera) comporta, precisamente a causa de su baja estabilidad, ciertos grados de inflamabilidad, correspondientes a los grupos A2L, A2 y A3. Estos gases pueden representar, principalmente en caso de A3, y es importante conocer y tratar convenientemente los riesgos que se pudieran dar en los distintos casos a las personas y los bienes con el fin de garantizar la seguridad.

6. Mantenimiento reactivo de fugas de gas

Poder anticiparse a malfuncionamientos de la instalación es clave para que la conservación de los productos almacenados sea correcta y si bien las fugas de gases comportan una serie de consecuencias negativas en todo el ámbito de la instalación frigorífica, la tendencia ha sido tratar la pérdida de gas refrigerante como una reparación correctiva y no preventiva.

En la figura de abajo vemos, según estudios del Instituto de Refrigeración de Reino Unido, las razones de visita más comunes por las que el instalador/mantenedor se desplaza a una instalación [8], siendo la causa del malfuncionamiento una fuga.

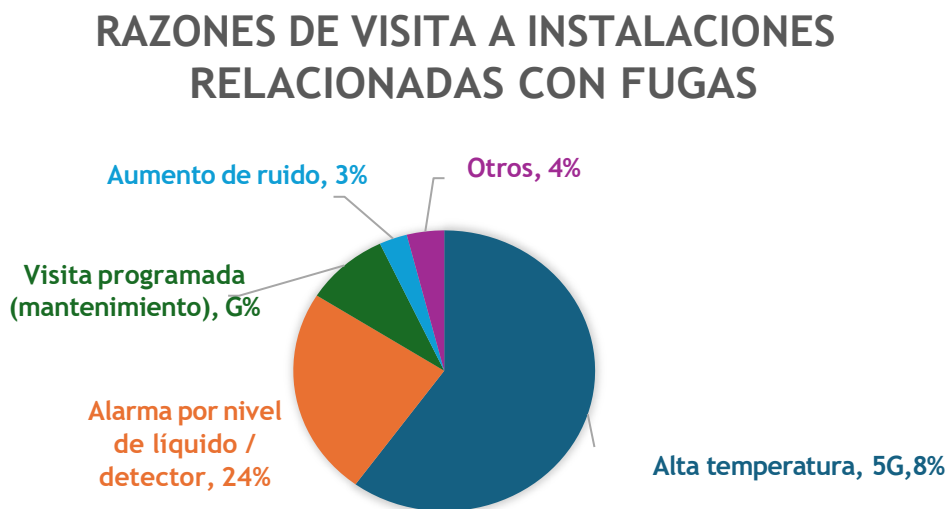


Figura VII. Razones de detección de fugas de gas refrigerante

En la mayor parte de los casos, es la falta de la capacidad de enfriamiento la que acaba encaminando a considerar que existe una fuga, lo cual no es ni óptimo ni eficiente y ha sido posible porque ha existido disponibilidad de gases refrigerantes para restaurar el circuito frigorífico.

La reducción en la disponibilidad de determinados gases en los próximos años, donde aquellos de mayor PCG serán también los más afectados, supondrá que en el corto plazo pueda no existir gas para reponer en la instalación.

Las tecnologías de detección prematura de fugas y los sistemas de supervisión deben servir para cambiar la manera de actuar sobre las instalaciones y las fugas de gas refrigerante, pasando de actuar de manera reactiva a actuar de manera preventiva.

7. Tipos de fugas de gas

En muchas ocasiones, las fugas pueden aparecer de manera imprevisible, por roturas... pero en otras situaciones, las fugas se muestran desde una fase muy temprana, por lo que el impacto puede minimizarse y corregirse antes de llegar a tener pérdidas.

Algunas de las fugas que suelen reproducirse comúnmente en instalaciones son:

7.1 Fugas estables



Características

- Se mantienen a lo largo del tiempo
- Por lo general son fugas importantes
- Cada vez la fuga es mayor por efecto de la erosión del poro

COSTE GAS	COSTE ENERGÉTICO	COSTE MEDIOAMBIENTAL	RIESGO CONSERVACIÓN	RIESGO ROTURA
ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO

7.2 Fugas nocturnas



Características

- Se producen en períodos de inactividad (puede hacerlo también de día)
- Noches y días de cierre (domingos)
- En muebles y cámaras con puertas cerradas
- La fuga es mucho mayor de lo que se detecta

COSTE GAS	COSTE ENERGÉTICO	COSTE MEDIOAMBIENTAL	RIESGO CONSERVACIÓN	RIESGO ROTURA
ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO

7.3 Fugas escaladas



Características

- Nos empiezan a avisar con pequeñas fugas
- En zonas de alta presión, la erosión del poro puede ser muy brusca
- Sin un Sistema de Detección Prematura el Coste puede ser altísimo
- La fuga se reflejar en equipos cercanos

COSTE GAS	COSTE ENERGÉTICO	COSTE MEDIOAMBIENTAL	RIESGO CONSERVACIÓN	RIESGO ROTURA
ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO

7.4 Fugas en el desescarche



Características

- Coinciden con períodos de desescarche
- En zonas de alta presión, la erosión del poro puede ser muy brusca
- Crucial el Mantenimiento Predictivo
- Sin un Sistema de Detección Prematura el Coste puede ser altísimo

COSTE GAS	COSTE ENERGÉTICO	COSTE MEDIOAMBIENTAL	RIESGO CONSERVACIÓN	RIESGO ROTURA
MEDIO	MEDIO	MEDIO	BAJO	ALTO

7.5 Microfugas

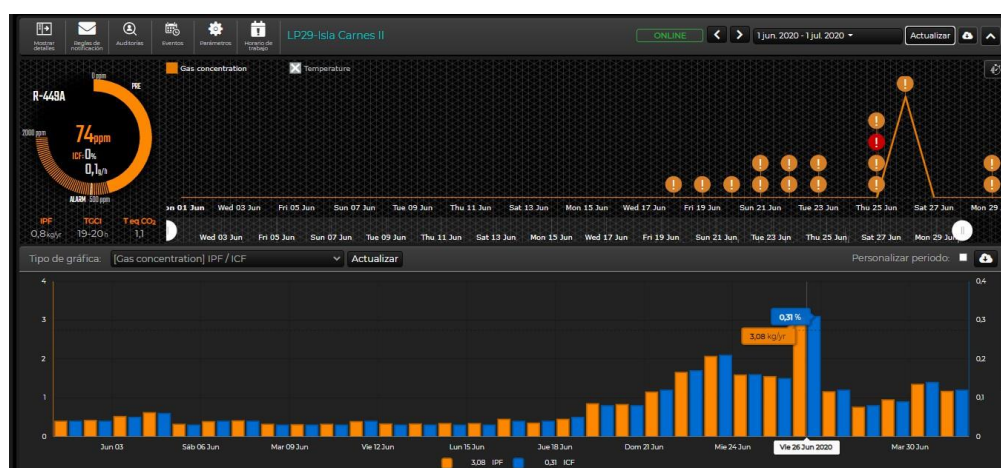


Características

- Unidades o decenas de ppm
- Exigen una búsqueda precisa, meticulosa y paciente
- Suelen derivar en ESCALADAS
- Indispensable conocer CUÁNDO dan la cara con mayor intensidad

COSTE GAS	COSTE ENERGÉTICO	COSTE MEDIOAMBIENTAL	RIESGO CONSERVACIÓN	RIESGO ROTURA
BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO/ALTO

7.6 Fugas repetitivas



Características

- Fuga que se da en el mismo servicio después de haber reparado una anterior
- Varias Microfugas en un servicio o zona
- Exigen una búsqueda precisa, meticulosa y paciente
- Habitual que se den varias fugas por servicio
-

COSTE GAS	COSTE ENERGÉTICO	COSTE MEDIOAMBIENTAL	RIESGO CONSERVACIÓN	RIESGO ROTURA
MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO

8. Seguridad de personas y reducción de fugas

La seguridad de las personas y la reducción de fugas de gas refrigerante son aspectos críticos en la industria de la refrigeración y, en este contexto, las tecnologías de detección juegan roles fundamentales.

Los sensores **semiconductores**, normalmente usados en la industria, cumplen con las normativas básicas, aunque presentan una reacción lenta y una sensibilidad limitada, además de falsas alarmas en determinadas ocasiones.

Estos sensores funcionan basándose en cambios de conductividad en un material semiconductor en presencia de gases refrigerantes. Esta tecnología puede no detectar rápidamente las fugas pequeñas, lo que podría representar un riesgo para la seguridad de las personas y aumentar las emisiones de gases refrigerantes, impactando negativamente el medio ambiente y los costos operativos.

Otras tecnologías como es **NDIR** (Non Dispersive InfraRed) ofrece una detección más avanzada y eficaz. Los sensores NDIR funcionan mediante la absorción de luz infrarroja por el gas refrigerante, permitiendo una detección rápida y precisa.

Esta tecnología no solo proporciona una mayor fiabilidad en la detección de fugas, sino que también permite una respuesta inmediata, crucial para mitigar riesgos y reducir significativamente la cantidad de refrigerante liberado al entorno. La rapidez y precisión de la tecnología NDIR minimiza la exposición a gases potencialmente peligrosos, mejorando la seguridad del personal y los costos asociados a la pérdida de refrigerantes, y ayuda a cumplir con normativas ambientales más estrictas.

Como ejemplo de buen funcionamiento, este tipo de tecnologías están siendo aceptadas por la EPA (Agencia de Protección Medioambiental de los EEUU) como sistema ALD (Automatic Leak Detection) que desde Octubre de 2024 será de obligatorio uso en instalaciones de refrigeración comercial que usen HFC en varios estados del país.

Hasta ahora, y sin obligatoriedad de uso, la EPA consideraba como sistema de reducción de emisiones aquel que permitiera actuar en concentraciones por debajo de 100 PPM, quedando ahora las exigencias en una necesidad de **poder alertar en un rango de 10 PPM**. (Ver figura VIII, extracto de presentación EPA & GreenChill relativa a los nuevos requerimientos)

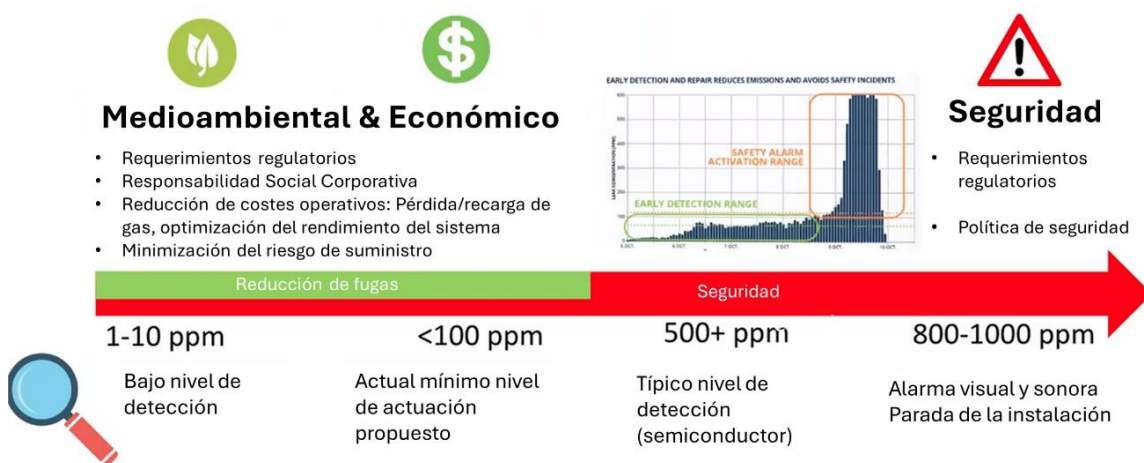


Figura VIII. Requerimientos de detección temprana para la reducción de fugas por la Agencia de Protección Medioambiental

Elegir el sistema más adecuado a cada instalación prolongará la vida de la propia instalación y nos permitirá obtener importantes retornos en un corto plazo de tiempo.

9. Referencias

- [1] Greenchill. Prioritizing Leak Tightness During Commercial Refrigeration Retrofits.
https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/gc_leaktightnesscommercialequipinstall_fact_sheet_20130912.pdf
- [2] Centre Efficacité énergétique des Systèmes. Inventaires des Emissions des fluides frigorigènes. Tableau I-7 Taux d'émissions fugitives 2015 par secteur, sources et incertitudes
- [3] Refrigerant Containment Study. Eric Devin et al. Conducted for ADEME by Cemafrica and IRSTEA. September 2015.
- [4] Institute of Refrigeration UK. Reducing refrigerant emissions & leakage - feedback from the IOR Project 4.2. Figure 9
- [5] Refrigerant Loss, System Efficiency and Reliability– A Global Perspective; GEA Refrigeration UK Ltd for Institute Of Refrigeration (IOR). ©Institute of Refrigeration Annual Conference 2013
- [6] Purdue University, Impacts of Refrigerant Charge
- [7] Verisae. 2008. Measuring Your Carbon Footprint. FMI Sustainability Task Force Meeting

Documento elaborado por:

José Luis Lucena

Product Manager de AKO

jlucena@ako.com