



## Cuestiones técnicas: Inflamabilidad

**Antecedentes:** El proceso de reducción gradual de la producción y el consumo de HFC en virtud de la Enmienda de Kigali conducirá en última instancia a una reducción del 85% en la cantidad de HFC que se pueden vender en todo el mundo. Para lograr unos recortes de tal magnitud, los usuarios de HFC necesitarán comenzar a utilizar fluidos alternativos con potenciales de calentamiento atmosférico (PCA<sup>1</sup>) mucho más bajos que los HFC actuales. Muchas de las alternativas de bajo PCA<sup>2</sup> son inflamables, lo cual genera posibles problemas de seguridad y puede llegar a restringir su uso. Se puede lograr una aplicación de refrigerantes inflamables segura y exitosa siempre que se aborden adecuadamente los correspondientes problemas de seguridad. La presente hoja informativa brinda orientación sobre el impacto del uso de alternativas de HFC inflamables.

La mayoría de los HFC no son inflamables y esta característica los convierte en una opción popular para muchas aplicaciones de usuario final. Al no ser inflamables, resulta relativamente fácil fabricar, instalar y mantener equipos como los sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Una fuga de refrigerante no inflamables no trae consigo un riesgo de incendio. De manera similar, puede ser más seguro utilizar un aerosol con un propelente de HFC no inflamable en circunstancias donde pudiera haber una fuente de ignición.

Una de las razones por las que la mayoría de los HFC no son inflamables es porque su estructura molecular es muy estable. Desafortunadamente, esta propiedad también les confiere a los HFC un alto PCA. Las alternativas con bajo PCA suelen contener moléculas menos estables, lo cual tiene como resultado que muchas de estas alternativas sean inflamables.

**Espectro de inflamabilidad:** Con anterioridad a la Enmienda de Kigali, se encontraban disponibles numerosos fluidos no inflamables y se utilizaba un enfoque simplista de la inflamabilidad. Si bien el uso de fluidos inflamables no es lo deseable, muchos códigos y normas de seguridad adoptaban una visión conservadora estableciendo que no se pudieran utilizar fluidos inflamables.

Este enfoque simplista no es ideal cuando se ve reducida la lista de líquidos no inflamables entre los cuales elegir. Si se pretende expandir el uso de alternativas de bajo PCA, es importante reconocer que existen "niveles de inflamabilidad" muy variables. Hay un espectro continuo de inflamabilidad que se puede describir como sigue:

- **Líquidos de muy alta inflamabilidad:** se produce fácilmente la combustión y pueden arder con presencia de impactos explosivos.
- **Líquidos de alta inflamabilidad:** es más difícil que se produzca la combustión, pero una vez que se produce continuarán ardiendo y podrían generar un riesgo importante.
- **Líquidos de baja inflamabilidad:** es muy difícil que se produzca la combustión, arden gradualmente y el fuego puede extinguirse cuando se retira la fuente de ignición.
- **Líquidos levemente inflamables:** aportan un riesgo de incendio menor que una cantidad equivalente de un fluido más inflamable.
- **Líquidos no inflamables:** no se puede producir la combustión.

Algunos códigos internacionales de seguridad en refrigeración han adoptado este espectro de inflamabilidad. Por ejemplo, los ISO 817, ISO 5149 y EN 378 incluyen cuatro categorías distintas de inflamabilidad. Desafortunadamente, no todos los estándares adoptan este enfoque y algunos se limitan a establecer dos categorías de sustancias: inflamables o no inflamables. Esto significa que los líquidos de baja inflamabilidad se tratan de la misma manera que los muy inflamables, restringiendo notablemente la aplicación segura de algunos fluidos inflamables.

### Parámetros de inflamabilidad:

<sup>1</sup> La [hoja informativa núm. 14](#) ofrece una lista de todos los acrónimos utilizados.

<sup>2</sup> Véase la [hoja informativa núm. 3](#) para mayor información acerca de las alternativas de bajo PCA.

Uno de los problemas a los que se enfrentan tanto los autores de los códigos de seguridad como los usuarios de fluidos inflamables es que la inflamabilidad es un problema complejo y no es fácil encontrar una forma sencilla de determinar una envoltura que garantice las condiciones de seguridad para cada fluido. La inflamabilidad se puede medir de varias maneras. Los siguientes parámetros son los más importantes:

1. **LII, límite inferior de inflamabilidad.** El límite inferior de inflamabilidad es la concentración mínima de un gas o vapor que es capaz de propagar una llama dentro de una mezcla homogénea de ese gas o vapor y aire.
2. **LSI, límite superior de inflamabilidad.** El límite superior de inflamabilidad es la concentración máxima de un gas o vapor que es capaz de propagar una llama dentro de una mezcla homogénea de ese gas o vapor y aire.
3. **CC, calor de combustión.** El CC es la energía liberada en forma de calor cuando un compuesto se somete a una combustión completa con oxígeno en condiciones estándar.
4. **VC, velocidad de combustión.** La velocidad de combustión es la velocidad a la cual se propaga una llama.
5. **EMI, energía mínima de ignición.** La energía mínima de ignición indica cuánta energía debe haber en una fuente de ignición (por ejemplo, una chispa o una llama desnuda) para iniciar la ignición de un gas o vapor.

Algunos códigos de seguridad usan la LII, el CC y la VC para definir las cuatro categorías de inflamabilidad, tal como se resume en la tabla 1.

**Tabla 1: Categorías de inflamabilidad según ISO 817, ISO 5149 y EN 378**

Categoría de inflamabilidad		Límite inferior de inflamabilidad LII kg/m <sup>3</sup>	Calor de combustión CC MJ/kg	Velocidad de combustión. VC cm/s
3	Inflamabilidad alta	<0,1 o >19		n/a
2	Inflamable media	>0,1 y <19		n/a
2L	Inflamabilidad baja	>0,1 y <19		<10
1	No inflamable	No se puede producir la combustión		

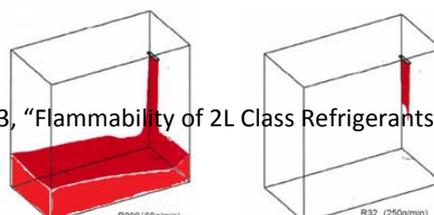
El problema de la inflamabilidad se complica incluso más debido a otros efectos que influyen en la combustión. Sirvan los tres ejemplos que siguen:

1. La geometría exacta de una fuente de ignición puede cambiar la EMI.
2. Una humedad del aire elevada puede aumentar la velocidad de combustión de algunos fluidos.
3. Cuando un gas que se escapa se mezcla con el aire que lo rodea, se produce un efecto de dilución.

La figura 1 ilustra de qué manera se produce la dilución. Para la categoría 3, vapor de alta inflamabilidad, el LII es bajo (es decir, solo es necesario que haya una pequeña cantidad de gas mezclado con aire para que se produzca la combustión) y debe producirse mucha dilución antes de que la concentración de gas caiga por debajo del LII. Para la categoría 2, vapor de baja inflamabilidad, el LII es mucho más alto y la dilución por debajo del LII puede ocurrir mucho más rápidamente. En este ejemplo, la mayor tasa de fuga de propano (de alta inflamabilidad) representa solo un cuarto de la tasa de fuga del HFC32 (de baja inflamabilidad), pero trae consigo una mayor posibilidad de riesgo de ignición (en rojo).

Estas cuestiones sirven para ilustrar la alta complejidad del problema de la inflamabilidad. Los códigos de seguridad deben mantener un enfoque conservador en ausencia de datos técnicos suficientes.

**Figura 1: Modelado de fugas y áreas de concentración de gas por encima del LII<sup>3</sup>**



<sup>3</sup> Osami Kataoka, JRAIA, enero de 2013, "Flammability of 2L Class Refrigerants"

R-290 (60 g/min)

R-32 (250 g/min)

Predicción de la extensión del área inflamable, en caso de fuga de R-290 (propano, inflamabilidad de categoría 3) y de HFC-32 (inflamabilidad de categoría 2L) de una unidad de refrigeración, aire acondicionado o bomba de calor montada en la pared. Las áreas en rojo representan la zona donde el vapor podría entrar en combustión. Téngase en cuenta que la fuga de R-290 es de 60 g/min, mientras que la fuga de HFC32 es más de 4 veces mayor (250 g/min).

**Probabilidad y gravedad de los riesgos:** Es importante distinguir entre la probabilidad de que se produzca la ignición y la gravedad de sus consecuencias. La probabilidad de la ignición depende en gran medida del LII y la EMI:

- Los líquidos de alta inflamabilidad se caracterizan por un LII bajo (es decir, no necesita más que una pequeña cantidad de gas mezclado con aire para que la ignición sea posible) y una EMI baja (es decir, una fuente de ignición de baja energía como una pequeña chispa causará ignición) .
- Los líquidos de baja inflamabilidad presentan un LII más alto, lo cual significa que el área en la que existe el riesgo de ignición será más pequeña (en la mayoría de las circunstancias normales, como se ilustra en la figura 1). También requiere una EMI mucho más alta, lo cual significa que debe haber una fuente de ignición mucho más potente ubicada en el área de riesgo de ignición.

La gravedad de las consecuencias de la ignición depende en gran medida de la VC y el CC:

- Un fluido de inflamabilidad alta tendrá una VC elevada, lo que puede conducir a una ignición explosiva dentro de una nube de gas que está por encima del LII. Si el CC también es alto, podrían ocasionarse daños significativos.
- Un fluido de inflamabilidad baja presentará una VC baja: de producirse la ignición, la combustión es lenta. A menudo, la combustión no se detiene si se retira la fuente de ignición.

Los gases de categoría 3 (inflamabilidad alta), como el propano, presentan una alta probabilidad de ignición con consecuencias severas.

En el caso de los gases de categoría 2L (inflamabilidad baja), como el HFO-1234yf o el HFC-32, es difícil que se produzca la ignición (alto LII y alta EMI) y su baja VC hace que las consecuencias de la ignición sean mucho menos severas.

La tabla 2 ilustra la variación de algunas de las características de inflamabilidad analizadas.

**Tabla 2: Ejemplos de parámetros clave**

Fluido	Categoría de inflamabilidad	LII kg/m <sup>3</sup>	EMI <sup>4</sup> mJ	CC MJ/kg	VC cm/s
Propano	3	0,038	0,3	46	43
HFC-152a	2	0,130	10	16	23
Amoníaco	2L	0,116	100	19	7
HFC-32	2L	0.307	1000	9	6
HFO-1234yf	2L	0,289	5000	9	1,5

<sup>4</sup> Estos valores de EMI son solo aproximados, pueden variar considerablemente según las condiciones de la prueba.

Es interesante observar que el amoníaco lleva muchos años utilizándose en los sistemas industriales de gran tamaño. Se trata de un fluido de baja inflamabilidad (categoría 2L). Son muy pocos casos documentados de incendio posterior a una fuga de amoníaco (debido a la dificultad de ignición).

Los fluidos de PCA ultrabajo, como el HFO-1234yf, y moderado, como el HFC-32, son grandes alternativas que podrían contribuir a alcanzar los objetivos de reducción de los HFC de acuerdo con la Enmienda de Kigali. Los datos de la tabla 2 indican que con estos fluidos es mucho más difícil que se produzca la ignición que con el amoníaco (EMI y LII mucho más altos) y que las consecuencias de la ignición son menores (VC y CC bajos). Si bien se trata de características alentadoras, conviene subrayar que hasta que no se cuente con mayor experiencia operativa con estos nuevos refrigerantes, es difícil definir la “envoltura operativa” segura para los fluidos de este tipo.

El HFC-152a presenta un LII más alto que el amoníaco y un CC más bajo. Los códigos de seguridad previos indicarían que el HFC-152a es “menos inflamable” que el amoníaco. Sin embargo, la experiencia práctica indica que el HFC-152a es mucho más fácil de inflamar que el amoníaco. Esto se puede explicar por la baja EMI (mayor facilidad de ignición) y el alto CC (consecuencias sean más severas). Esto muestra la importancia de evitar una forma simplista de categorizar la inflamabilidad.

**Uso actual de fluidos inflamables:** Existe ya un uso generalizado de fluidos inflamables como alternativas tanto a las SAO como a los HFC. Entre ellos destacan:

Líquidos de alta inflamabilidad:

- a) isobutano en refrigeradores domésticos
- b) propano en refrigeradores comerciales autónomos
- c) pentano para la fabricación de espuma aislante de PU
- d) mezclas de hidrocarburos como propelentes en aerosoles

Líquidos de baja inflamabilidad

- a) Amoníaco en plantas de refrigeración industrial
- b) HFO-1234yf en el aire acondicionado de automóviles
- c) HFO-1234ze en enfriadores de agua
- d) HFC-32 en equipos pequeños de aire acondicionado *split*

Para que la Enmienda de Kigali sea exitosa, será necesario que tenga lugar un crecimiento considerable en el uso de fluidos inflamables, lo cual requiere concertación de esfuerzos a nivel internacional y nacional.

**Peligros relacionados con la retroadaptación de los equipos existentes:**

Los equipos nuevos pueden desde un inicio diseñarse para un uso compatible con fluidos inflamables, teniendo en cuenta los aspectos de seguridad pertinentes. El uso de un refrigerante inflamable para retroadaptar el equipo existente que fuera en su día diseñado para un fluido no inflamable, acarrea importantes riesgos de seguridad por lo que, en términos generales, no es muy recomendable. En una reunión reciente del Comité Ejecutivo, se acordó la Decisión 72/17, que establecía que cualquiera que lleve a cabo “operaciones de retroadaptación de equipos de refrigeración y climatización dotados con refrigerantes formulados con HCFC para que pasen a funcionar con refrigerantes tóxicos o inflamables, con las actividades de servicio y mantenimiento que ello conlleva, lo harán dándose por entendido que asumen todas las responsabilidades y riesgos que de todo ello se deriven”<sup>5</sup>. Los organismos del Protocolo de Montreal no se responsabilizarán de las consecuencias adversas que surjan de la elección de utilizar refrigerantes inflamables en equipos no preparados para su uso.

**Medidas requeridas a nivel internacional:** Se requiere tomar varias medidas, entre las que figuran:

- 1) Los organismos internacionales de normalización deben realizar esfuerzos continuos para actualizar las normas de manera que reflejen adecuadamente las oportunidades de usar fluidos inflamables de forma segura en diversas aplicaciones, especialmente en el mercado de la refrigeración y el aire acondicionado. Deberían revisarse aquellas normas que no reconozcan el espectro de inflamabilidad.

<sup>5</sup> Véase [www.multilateralfund.org/72/English/1/7247.pdf](http://www.multilateralfund.org/72/English/1/7247.pdf)

- 2) Los organismos de investigación deben realizar investigaciones más a fondo sobre el uso efectivo y seguro de fluidos inflamables, con el fin de proporcionar pruebas empíricas que respalden la actualización de las normas.
- 3) Los fabricantes de equipos tienen que rediseñar algunos de sus productos para que se pueda hacer un uso seguro de los fluidos inflamables.
- 4) Deben divulgarse los datos sobre el uso exitoso de fluidos inflamables para aumentar la confianza en su aplicación posterior.

### **Medidas requeridas en los países que operan al amparo del artículo 5:**

Muchos países del A5 deben tomar medidas adicionales para acompañar el aumento del uso de fluidos inflamables. En particular:

- 1) Concienciar y mejorar los conocimientos para explicar que los fluidos inflamables se pueden usar de forma segura y que ya habían sido ampliamente introducidos en algunos mercados durante la eliminación de los CFC.
- 2) Asegurarse de que haya capacitación disponible para los técnicos de instalación y mantenimiento.
- 3) Asegurarse de que haya equipos y herramientas especializados disponibles (por ejemplo, herramientas que estén diseñadas para ser utilizadas de manera segura en un área donde pueda haber vapor inflamable).
- 4) Evaluar cualquier legislación/norma nacional o local que pueda requerir una actualización para armonizarla con las normas de seguridad internacionales actualizadas.

**Acción por el  
Ozono**

Programa de las

Naciones Unidas

1 rue Miollis, Edificio VII  
París 75015, Francia

[www.unep.org/ozonaction](http://www.unep.org/ozonaction)  
[ozonaction@unep.org](mailto:ozonaction@unep.org)