



¿Qué son los refrigerantes A2L y por qué los necesitamos?

por Stephen Spletzer



Opteon™



Opteon™

INDICE

Introducción	p. 4
Encontrando el Balance Correcto entre Seguridad y Sustentabilidad	p. 7
Clasificaciones de Seguridad y Parámetros de Inflamabilidad	p. 12
Actividades Industriales e Implicaciones para los Códigos y Estándares.....	p. 20
Conclusiones	p. 22
Acerca de los Refrigerantes Opteon™	p. 24

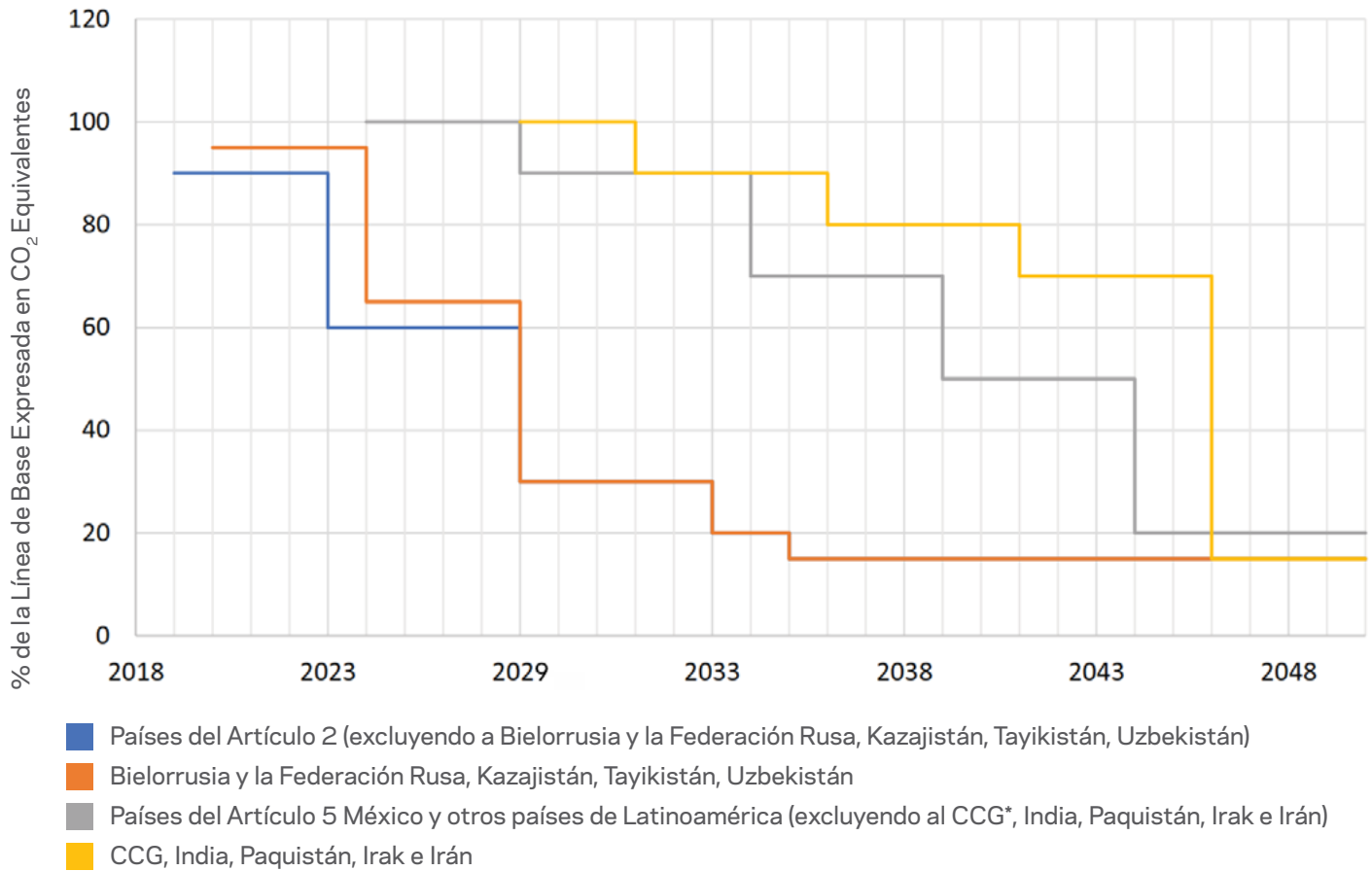


Introducción

Las normativas enfocadas en combatir el cambio climático a nivel global, están impulsando la transición de la industria del aire acondicionado y la refrigeración (Refrigeration and Air Conditioning, por sus siglas en inglés) **(RAC)** hacia soluciones refrigerantes con menor potencial de calentamiento global (*global warming potential*) **(GWP)**. A escala internacional, la Enmienda de Kigali y el Protocolo de Montreal, se han establecido el marco de trabajo para una eliminación gradual global de los refrigerantes **hidrofluorocarbonos (HFC)**. Dicha eliminación gradual es definida en una base ponderada de GWP.

Se han establecido diversas líneas de base y calendarios escalonados iniciales para diferentes grupos de países (*Figura 1*). El resultado final de esta estrategia es que los países participantes tendrán que reducir la base ponderada de GWP de sus niveles de consumo de HFCs e hidroclorofluorocarbonos (HCFC) entre un 15 y 20% de sus líneas de base establecidas. Esta enmienda ha sido ratificada por más de 80 países, al momento de esta publicación, y entró en vigor el 1 de enero del 2019.

Figura 1. Calendarios de Eliminación Gradual de la Enmienda de Kigali



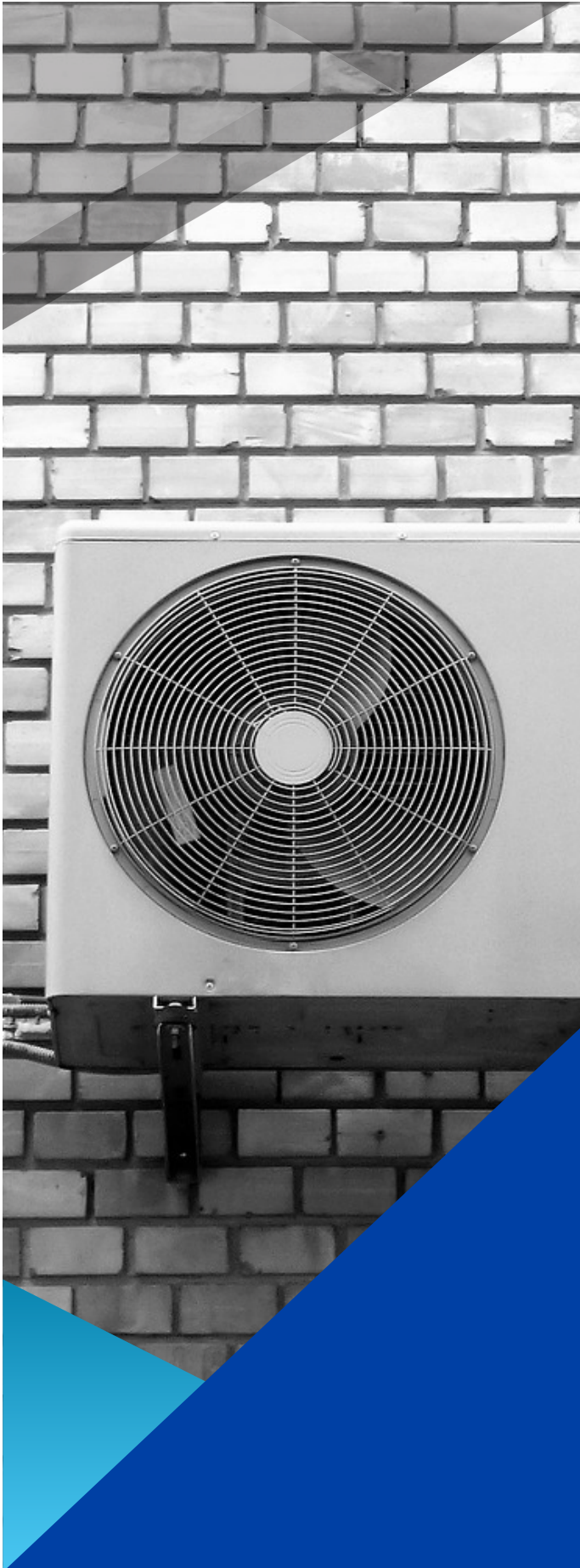
*CCG= Consejo de Cooperación para los Estados Árabes del Golfo

En respuesta a la Enmienda de Kigali, la legislación, está reformándose en muchas partes del mundo. Los reglamentos F-gas en Europa, que antecedieron a Kigali, ya han definido una serie de reducciones escalonadas en el consumo de HFCs en la región, asociadas con límites para el GWP específicos por aplicación, que entrarán en vigor durante los próximos años.

Japón y Canadá también han establecido límites para el GWP específicos por aplicación. En EEUU, la EPA ha introducido diversas reglas en la Política de Nuevas Alternativas Significativas (*Significant New Alternatives Policy*), que aprueban alternativas con menor GWP. Otros

países y regiones están desarrollando estrategias distintas; sin embargo, un hilo conductor común en todas estas políticas, es que el GWP de los refrigerantes que la industria RAC utiliza, deberá ser reducido drásticamente para cumplir con estas obligaciones normativas.

Se han desarrollado refrigerantes nuevos e innovadores, tales como las hidrofluoroolefinas (HFOs), que tienen un GWP significativamente más bajo que los HFCs. Sin embargo, estas y otras alternativas [e. g., hidrocarburos (HCs), mezclas, etc.] tienen diversos grados de inflamabilidad.



Con este fin, la industria RAC ha pasado varios años preparándose para hacer una transición hacia los refrigerantes inflamables. Este documento presenta un panorama general de algunos de los refrigerantes con menores GWPs que han sido desarrollados, junto con los factores clave que deben ser considerados al trabajar con refrigerantes inflamables. También se analizan las clases de seguridad y los parámetros de inflamabilidad, así como sus efectos en la selección del refrigerante. Finalmente, se resalta también el impacto sobre los códigos y los estándares.



Encontrando el Balance Correcto entre Seguridad y Sustentabilidad

Los hidrofluorocarbonos (HFCs) han sido utilizados como los principales reemplazos para los refrigerantes que agotan la capa de ozono [e. g., clorofluorocarbonos (CFCs) y HCFCs], por más de tres décadas – son productos tales como el **R-134a**, **R-404A** y **R-410A**. Sin embargo, muchos de estos reemplazos tienen GWPs relativamente altos y, por lo tanto, están en el foco de los actuales esfuerzos normativos para reducir el impacto ambiental de las emisiones

de refrigerantes. Se han desarrollado diversos refrigerantes no inflamables con menor GWP, utilizando la tecnología de HFOs (Tabla 1), que han sido exitosamente introducidos al mercado de ACR, como:

- **Opteon™ XP41** (R-463A),
- **Opteon™ XP40** (R-449A)
- **Opteon™ XP44** (R-452A),
- **Opteon™ XP10** (R-513A)
- **Opteon™ XP30** (R-514A).

Si bien estos productos están teniendo un efecto significativo en la reducción del impacto en el calentamiento global de sistemas RAC a través de mayores eficiencias y GWP's notablemente más bajos, algunos de ellos no alcanzan las metas GWP muy bajas (<150), impuestas por algunos de los requerimientos regulatorios más estrictos.

En este momento, no existen alternativas no inflamables con GWP muy bajos, con presiones cercanas a las del R-22, R-404A y R-410A. Para muchas de las aplicaciones actuales, la industria debe considerar opciones inflamables (e. g., los productos Opteon™ XL), para cumplir con los futuros requerimientos normativos. (Tabla 1, alternativas Clase A2L).



Tabla 1. Refrigerantes Alternativos con Menor GWP

Refrigerante Industrial Estándar (GWP)	Alternativas No Inflamables -Clase A1 (GWP)	Alternativas con Menor Inflamabilidad - Clase A2L (GWP)
R-123 (79)	R-1233zd (1) Opteon™ XP30 - R-514A (2)	-----
R-134a (1300)	R-450A (547) Opteon™ XP10 - R-513A (573)	Opteon™ XL10 - R-1234yf (<1) R-1234ze (<1)
R-22 (1760) R-404A (3943)	R-448A (1273) Opteon™ XP40 - R-449A (1282) Opteon™ XP44 - R-452A (1945)	Opteon™ XL40 - R-454A (238) Opteon™ XL20 - R-454C (146)
R-410A (1924)	Opteon™ XP41 - R-463A (1377)	R-32 (677) Opteon™ XL55 - R-452B (676) Opteon™ XL41 - R-454B (467)

* Los valores GWP se basan en un AR5 de 100 años.



En este momento, no existen alternativas no inflamables con GWP muy bajos, con presiones cercanas a las del R-22, R-404A y R-410A. Para muchas de las aplicaciones actuales, la industria debe considerar opciones inflamables para cumplir con los futuros requerimientos normativos.

Las alternativas existentes para los HFCs con mayor GWP han sido utilizadas por décadas. Las sustancias químicas industriales, tales como los hidrocarburos, el amoníaco (R-717) y el CO₂, tienen bajos GWPs y están teniendo un incremento en su aplicación; sin embargo, todos estos productos tienen limitaciones.

Los hidrocarburos son altamente inflamables (calificación de seguridad A3 en el Estándar 34-2019 del ANSI/ASHRAE), que típicamente limita su uso en cargas de refrigerante más

pequeñas en equipo autocontenido. El amoníaco tiene alta toxicidad y baja inflamabilidad (calificación de seguridad B2L), además de problemas de compatibilidad. En gran medida, su uso sigue estando en las aplicaciones industriales. El CO₂ no es inflamable, pero tiene una presión muy alta y una temperatura crítica relativamente baja (31°C), que afecta su uso y eficiencia en ciertas zonas geográficas. Además, todos estos productos requieren un rediseño significativo a partir de las arquitecturas existentes en sistemas HFC.

Dadas las limitaciones de las sustancias químicas industriales, así como la falta de alternativas no inflamables con muy bajos GWPs para muchas aplicaciones, se requerían soluciones nuevas y diferentes. La industria preguntaba si era posible desarrollar nuevos refrigerantes que equilibraran mejor los requerimientos competitivos para los diseños del sistema ACR. **¿Se podrían encontrar fluidos con GWPs muy bajos y, de manera simultánea, redujeran los riesgos asociados con el uso de refrigerantes altamente inflamables y minimizaran el nivel de rediseño del sistema requerido a partir del uso de sustancias químicas industriales? La respuesta a estas preguntas es, “¡Sí!”**

Los HFOs son jugadores recientes en el mercado de RAC. Si bien son químicamente estables dentro de los sistemas RAC, los HFOs se descomponen con facilidad en la atmósfera y, por lo tanto, tienen un GWP muy bajo y un impacto mínimo en el medio ambiente. De hecho, el GWP de varios HFOs es más bajo que el de algunas de esas sustancias industriales, tales como el CO₂. Algunos HFOs no son inflamables (calificación de seguridad A1), pero tienen baja presión (e. g., similar a la del R-123). Otros son ligeramente inflamables (calificación de seguridad A2L), con presión media (cerca a la del R-134a).

Si bien los HFOs son prometedoras alternativas con bajo GWP para los HFCs y HCFCs, son notablemente inferiores en capacidad con respecto a los productos de alta presión existentes (e. g., R-22, R-404A o R-410A); y no pueden reemplazarlos de manera directa en muchas aplicaciones. Por lo tanto, con frecuencia son combinados con HFCs para producir mezclas con menor GWP (e. g., Opteon™), muchas de las cuales también son ligeramente inflamables (clasificación de seguridad A2L).

Existen dos grupos principales de refrigerantes inflamables que compiten para satisfacer los requerimientos de alternativas con menor GWP para muchas aplicaciones ACR: A3s (i. e., hidrocarburos) y A2Ls, que consisten principalmente en las HFC R-32, HFOs y mezclas basadas en HFO. Si bien todos estos productos son inflamables, tienen considerables diferencias en sus clasificaciones y parámetros de inflamabilidad. Estas diferencias afectan la forma en que dichos productos pueden ser aplicados con seguridad, e impactan los riesgos relativos asociados con su uso.







Clasificaciones de Seguridad y Parámetros de Inflamabilidad

Los grupos de seguridad para refrigerantes se basan en los requerimientos de toxicidad e inflamabilidad del Estándar 34 (2019) ANSI/ASHRAE. La toxicidad está dividida en dos clases "A" para baja toxicidad y "B" para mayor toxicidad. Los refrigerantes con alta toxicidad (e. g., R-123 y R-717), típicamente están limitados a los sistemas indirectos, tales como chillers en cuartos de máquinas. La inflamabilidad, por otro lado, se divide en cuatro clases distintas: **Clase A1, Clase A2L, Clase A2 y Clase A3.**

Los hidrocarburos, tales como el propano o isobutano, tienen calificaciones de seguridad A3. Muchos HFOs o mezclas con base HFO y algunos HFCs, tienen calificaciones de seguridad A2L.

La *Figura 2* presenta una matriz de los grupos de seguridad de los refrigerantes, junto con los criterios para las diferentes clases de inflamabilidad.

Figura 1. Grupos de Seguridad y Requerimientos para las Pruebas de Inflamabilidad

Mayor Inflamabilidad ↑	Mayor Inflamabilidad	A3	B3	Requerimientos Clase 3 1. Exhibe propagación de flama @ 60°C y 101.3 kPa 2. LFL < 0.10 kg/m ³ o HOC > 19,000 kJ/kg	
	Inflamable	A2	B2		Requerimientos Clase 2 1. Exhibe propagación de flama @ 60°C y 101.3 kPa 2. LFL > 0.10 kg/m ³ 3. HOC < 19,000 kJ/kg
	Menor Inflamabilidad	A2L	B2L		Requerimientos Clase 2 1. Exhibe propagación de flama @ 60°C y 101.3 kPa 2. LFL > 0.10 kg/m ³ 3. HOC < 19,000 kJ/kg 4. S _u < 10 cm/s
	Sin Propagación de Flama	A1	B1		Requerimientos Clase 1 1. Sin propagación de flama @ 60°C & 101.3 kPa
		Menor Toxicidad	Mayor Toxicidad		
		← Mayor Toxicidad →			

Un requerimiento para todas las clases de seguridad de refrigerantes inflamables (i. e., A2L, A2 y A3), es que debe haber propagación de flama cuando se evalúan con el *Método de Prueba Estándar para los Límites de Concentración de Inflamabilidad de Sustancias Químicas (Vapores y Gases)*, ASTM E681 (2002). Sin embargo, es importante señalar que algunos refrigerantes que típicamente son descritos como no inflamables, con clase de seguridad de A1 que no exhiben propagación de flama, podrían descomponerse al ser expuestos a una flama.

Cuando se analizan los requerimientos de prueba en cada categoría, para el observador casual podría ser difícil evaluar el impacto que las diferentes clases tienen sobre el diseño o la seguridad del equipo. Sin embargo, existen diversos parámetros de inflamabilidad enlistados en los requerimientos de prueba, incluyendo el Límite Inferior de Inflamabilidad (*Lower*

Inflamability Limit) (LFL), Calor de Combustión (*Heat of Combustion*) (HOC) y Velocidad de Llama (*Burning Velocity*) (S_u).

Los parámetros de inflamabilidad deberán ser considerados al hacer comparaciones objetivas del impacto relativo que los diferentes refrigerantes tienen en el diseño y seguridad del sistema. La *Tabla 2* presenta una lista de los principales parámetros de inflamabilidad, junto con información de las propiedades del R-1234yf, R-32 y R-290. El R-1234yf es un HFO, mientras que el R-32 es un HFC. Ambos tienen calificación de seguridad A2L, y son utilizados como alternativas para refrigerantes con mayor GWP o como componentes en mezclas de refrigerantes. El R-290, o propano (calificación de seguridad A3), es un hidrocarburo que está siendo cada vez más utilizado en el equipo de refrigeración comercial autocontenido.

Tabla 2. Parámetros de Inflamabilidad de los Refrigerantes

# de Designación ASHRAE para el Refrigerante	R-1234yf	R-32	R-290
Grupo de Seguridad ASHRAE	A2L	A2L	A3
LFL (% en Vol. en aire, kg/m ³)	6.2/0.289	14.4/0.307	2.2/0.038
UFL (% en Vol. en aire)	12.3	29.3	10.0
UFL - LFL (% en Vol. en aire)	6.1	14.9	7.8
Energía Mínima de Ignición (MIE) (mJ)	> 5,000	30 -100	0.25
Velocidad de Llama (S _u) (cm/s)	1.5	6.7	46
Calor de Combustión (HOC) (kJ/g)	10.7	9.4	46.3

Límites de Inflamabilidad, ASTM E681 y ASTM D3065

Los límites de inflamabilidad se determinan con el estándar de prueba ASTM E681, mencionado anteriormente. Todos los refrigerantes inflamables, sea que tengan baja (A2L) o alta (A3) inflamabilidad, pueden propagar una flama y por lo tanto, tendrán límites de inflamabilidad. El Límite de Inflamabilidad Inferior (*Lower Flammability Limit*) (**LFL**) y el Límite de Inflamabilidad Superior (*Upper Flammability Limit*) (**UFL**), definen las concentraciones máximas y mínimas de una sustancia en el aire que pueden propagar una flama. Debajo del LFL no hay combustible suficiente para sustentar el fuego; por arriba del UFL, la concentración es demasiado alta y el oxígeno en el aire no es suficiente. Mientras menor sea el LFL, más alto será el riesgo (dado que, en caso de fuga, una concentración inflamable puede alcanzarse con más facilidad).

Mientras mayor sea la diferencia entre el UFL y el LFL, mayor será la ventana de concentración donde podría presentarse un potencial evento de ignición.

Como se observa en la *Tabla 2*, el R-290 tiene un LFL mucho más bajo que el R-32 y el R-1234yf. Por lo tanto, es potencialmente más fácil alcanzar una concentración inflamable a partir de una fuga con R-290. Esto es típico de los A3s en comparación con los A2Ls, debido a que los hidrocarburos (A3s) tienden a tener límites de inflamabilidad menores que los A2Ls. Además, los pesos moleculares de los A3s también tienden a ser menores, lo que significa que se requiere menor masa para alcanzar una concentración inflamable.

Este aspecto es crítico durante el diseño del equipo, porque juega un papel importante en el tamaño de la carga del sistema.

El impacto potencial de la diferencia en los LFLs en “escenarios de fuga”, puede ser demostrada visualmente con más facilidad utilizando el ASTM D3065, *Métodos de Prueba Estándar de Inflamabilidad de Productos en Aerosol* (2001). En este ensayo se utiliza una Prueba de Proyección de Flama para analizar los peligros potenciales de la inflamabilidad de los productos en aerosol.

En el procedimiento, el contenido de una lata de aerosol es rociada a través de un mechero encendido. Si la flama se propaga, la extensión alcanzada se mide y se registra. Los refrigerantes R-1234yf, R-32 y R-290 fueron evaluados con este método. Cuando la lata se mantuvo en posición vertical y se esparció a través del mechero, la llama fue apagada por los tres refrigerantes. Si bien aquí no se midieron las concentraciones, esto sugiere que, en los tres casos, las mezclas refrigerante-aire asperjadas no alcanzaron el LFL antes de apagar la llama. Debido a que estos son refrigerantes de presión media a alta, las mezclas refrigerante-aire se movieron a una velocidad considerable, lo que probablemente ayudó a apagar la llama.

Posteriormente, la lata fue invertida, en forma tal que la boquilla fuera alimentada con líquido refrigerante y no con vapor. Esto dio como resultado que mayores concentraciones de refrigerante fueran alimentadas a través del mechero. En todas las corridas de prueba con ambos productos A2L (R-1234yf y R-32), la llama siguió siendo extinguida, lo que nuevamente sugiere que la concentración LFL no fue alcanzada en el mechero mientras la flama seguía encendida.

Sin embargo, la prueba con propano produjo una gran llama (como se ilustra en la *Figura 3*). Esto sugiere que una concentración inflamable fue alcanzada en la llama del mechero con el R-290. Esto no es sorprendente, dado que el propano con frecuencia es utilizado como gas de soldadura. Sin embargo, es importante señalar que, mientras los refrigerantes A2L son más difíciles de encender que los A3s, una flama abierta puede encender cualquier refrigerante inflamable cuando se alcanza una concentración inflamable.

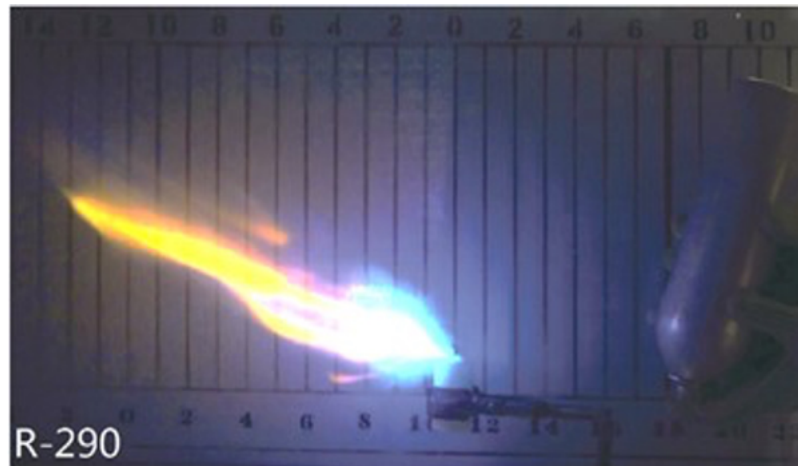


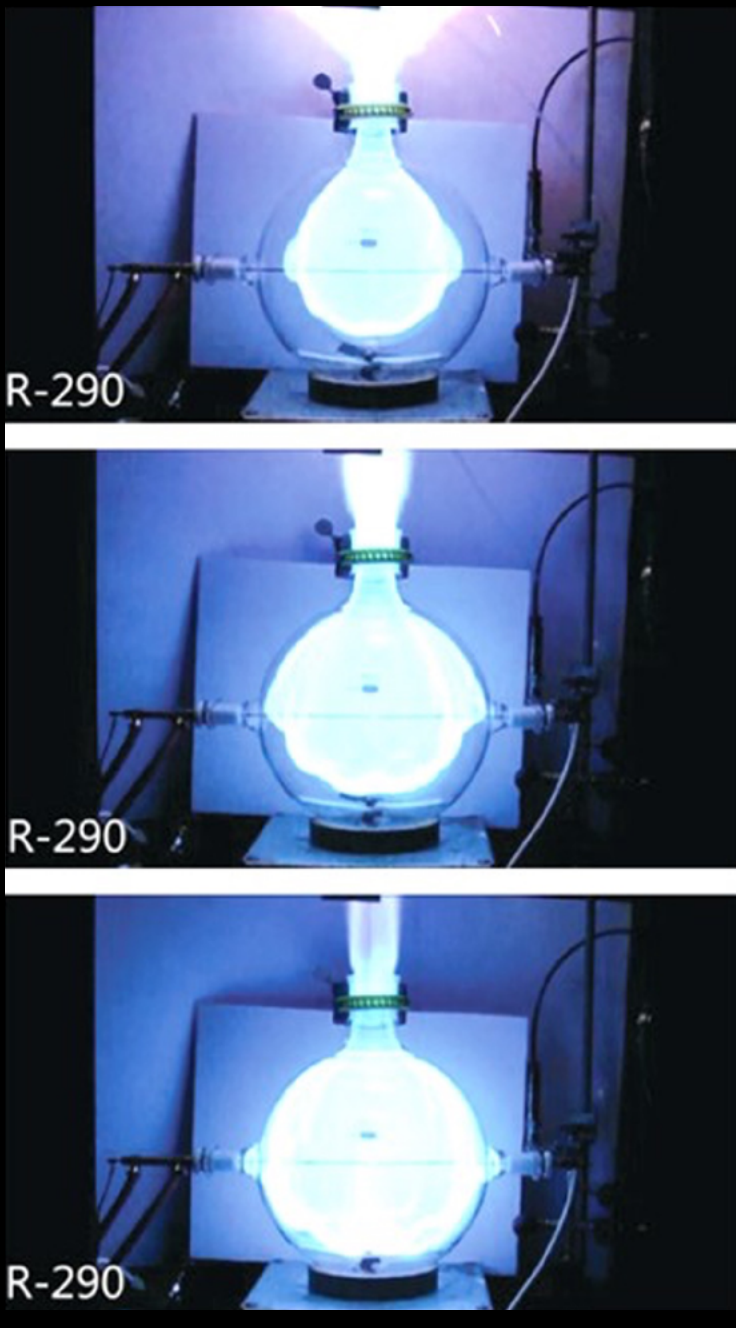
Figura 3. Imagen de una Corrida de Prueba de Proyección de Flama con R-290

La Energía Mínima de Ignición y el ASTM E582

La energía mínima de ignición (*Minimum Ignition Energy*) (**MIE**), también es un parámetro de inflamabilidad crítico que debe ser considerado al diseñar el equipo. Esto se refiere a la mínima cantidad de energía requerida para encender una mezcla gas-aire inflamable. Las fuentes de ignición por debajo de este nivel no encenderán el compuesto. Los vapores de hidrocarburo pueden ser encendidos fácilmente por muchas fuentes de energía, incluso a veces por los bajos niveles generados por la electricidad estática. Un ejemplo de la ignición de propano usando el estándar ASTM E582 (2013) a 1 mJ se ilustra en la *Figura 4*. La MIE del R-290, como se observa en la *Tabla 2*, son órdenes de magnitud menor a los niveles requeridos para encender los refrigerantes A2L. Las implicaciones de esta diferencia son significativas tanto para la seguridad como para el diseño de equipo, dado que los componentes que son una fuente de ignición para los A3s, a menudo podrían no serlo para los A2Ls.

Esto se analiza posteriormente en la sección de **Actividades Industriales e Implicaciones para los Códigos y Estándares**.

Figura 4. Imágenes Progresivas de una Corrida de Prueba de MIE a 1 mJ con R-290



Pruebas de Velocidad de Llama y con Encendedor de Butano

La velocidad de llama (S_u), se define como la “máxima velocidad (cm/s) a la que una flama laminar se propaga en dirección normal con respecto al gas no quemado que está delante de ella” (estándar 34-2019 ANSI/ASHRAE). Esta propiedad se utiliza para ayudar a clasificar los refrigerantes Clase A2L, que deben tener una velocidad de llama ≤ 10 cm/s. En la *Tabla 2*, pudimos ver que el R-290 (al igual que otros hidrocarburos) tiene una velocidad de llama significativamente más alta que los productos A2L.

Esto tiene implicaciones para la seguridad, dado que mayores velocidades de llama pueden representar mayores riesgos potenciales. Los eventos de ignición a partir de refrigerantes A3 con velocidades de llama más altas, pueden dar como resultado la propagación y dispersión más rápidas de la flama. Una propagación y dispersión de la flama más rápida también generará tasas de incremento de la presión mucho más rápidas, que pueden aumentar la gravedad de los eventos de ignición.

Si bien no se realiza específicamente para caracterizar la velocidad de llama o el incremento de presión, las imágenes paralelas tomadas de los videos de las pruebas con encendedor de butano, pueden dar una idea de las diferencias en las velocidades de llama y las tasas de incremento de la presión de diferentes refrigerantes.

En esta prueba se inserta un encendedor de butano prendido en la parte inferior de un recipiente vertical, cargado con un refrigerante

inflamable. La flama viaja hacia arriba en el recipiente y bota un tapón de hule apoyado ligeramente en la parte superior de la unidad de prueba para aliviar la presión que aumenta.

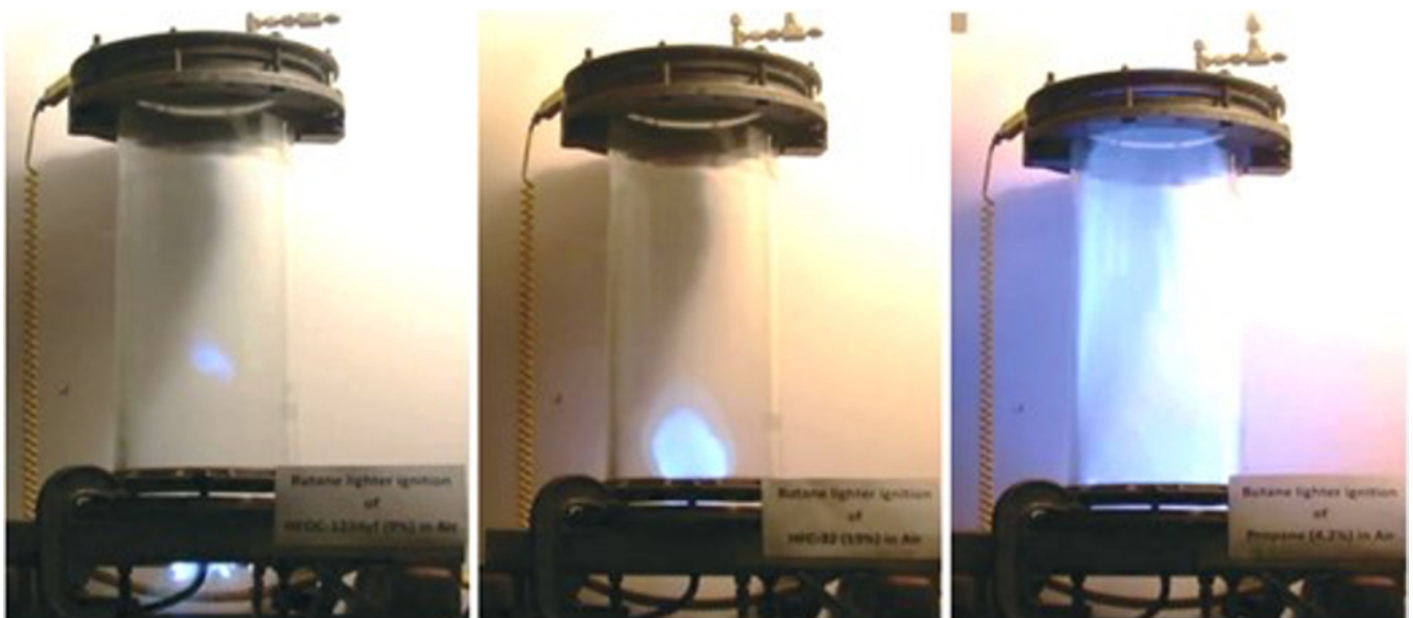
Las concentraciones del “peor caso” para el R-1234yf, R-32 y R-290, que estuvieron ligeramente arriba de las estequiométricas para cada refrigerante, se cargaron en el recipiente y fueron encendidas.

La *Tabla 3* presenta las concentraciones utilizadas durante las pruebas. El tamaño de las cargas para los productos A2L fue más de cinco veces más grande que el tamaño de la carga de R-290. La *Figura 5* muestra el arreglo de la prueba para cada refrigerante a 0.083 segundos después de la ignición.

Tabla 3. Concentraciones de Refrigerante para la Prueba con Encendedor de Butano

# de Designación ASHRAE para el Refrigerante	R-1234yf	R-32	R-290
Grupo de Seguridad ASHRAE	A2L	A2L	A3
Concentración Estequiométrica (% en Vol.)	7.73	17.32	4.02
Concentración de Prueba (% en Vol.)	9.0	19.0	4.2
Carga de Prueba del Refrigerante (g)	5.12	4.93	0.92

Figura 5. Pruebas con Encendedor de Butano a 0.083 s Post-Ignición [R-1234yf (Izquierda), R-32 (Centro), R-290 (Derecha)]



En este punto del tiempo, el R-1234yf (que tiene la menor velocidad de llama), produjo la flama más pequeña. El R-32, que tiene una velocidad de llama más alta, 6.7 cm/s, muestra una dispersión de la flama mayor y más desarrollada. En el caso del R-290, que tiene una velocidad de llama aún más alta, la flama ya ha envuelto el recipiente y ha salido de la parte superior, rebasando el campo visual de la cámara. Mientras tanto, el incremento de presión asociado con la ignición del R-290, ha lanzado el tapón de hule fuera del recipiente a

alta velocidad, haciéndole rebotar en la parte superior de la campana de extracción.

Debe observarse que, en la ignición de cada refrigerante, la flama envolvió el recipiente completo y el incremento de la presión lanzó el tapón de hule. Sin embargo, en el caso del R-1234yf y el R-32, las flamas viajaron mucho más lentamente y el tapón de hule sólo saltó ligeramente hacia arriba, cayendo sobre el mismo recipiente, y no fue lanzado fuera de la campana de extracción.



Calor de Combustión, Temperatura de Ignición por Superficie Caliente e Hilo Incandescente

El calor de combustión (*heat of combustion*) (**HOC**), es el calor por unidad de masa liberado durante la combustión de una sustancia. Mientras mayor sea el **HOC**, mayor será el riesgo - dado que esto puede generar temperaturas más altas durante un evento de ignición, incrementando potencialmente su gravedad. El HOC para el R-290 es de \approx 4.5 a 5 veces más alto que el de los A2Ls.

Si bien no se ha mencionado anteriormente, otro parámetro de inflamabilidad de los refrigerantes que actualmente está siendo investigado por

la industria RAC, es la Temperatura de Ignición por Superficie Caliente (*Hot Surface Ignition Temperature*) (**HSIT**).

Las superficies calientes pueden provocar la ignición de los refrigerantes inflamables. Esta es una causa de preocupación, por ejemplo, cuando se seleccionan calentadores de resistencia eléctrica para ser utilizado en un sistema ACR. Si bien no son evaluaciones de HSIT, las pruebas de hilo incandescente pueden ser utilizadas para simular el efecto que un calentador eléctrico podría tener sobre una concentración refrigerante-aire inflamable.

Se realizaron corridas de prueba para el R-1234yf, R-32 y R-290. Un recipiente horizontal fue cargado con las concentraciones del “peor caso” de cada refrigerante (*Tabla 4*). El tamaño de la carga de los A2Ls fue entre 4.5 a 5 veces más grande que la carga de propano. Se calentó un hilo incandescente durante dos minutos o hasta que la ignición ocurrió.

Un tapón de hule colocado en el lado derecho del recipiente alivió la presión en el caso de una ignición. El hilo incandescente alcanzó una temperatura estimada de 500-700°C.

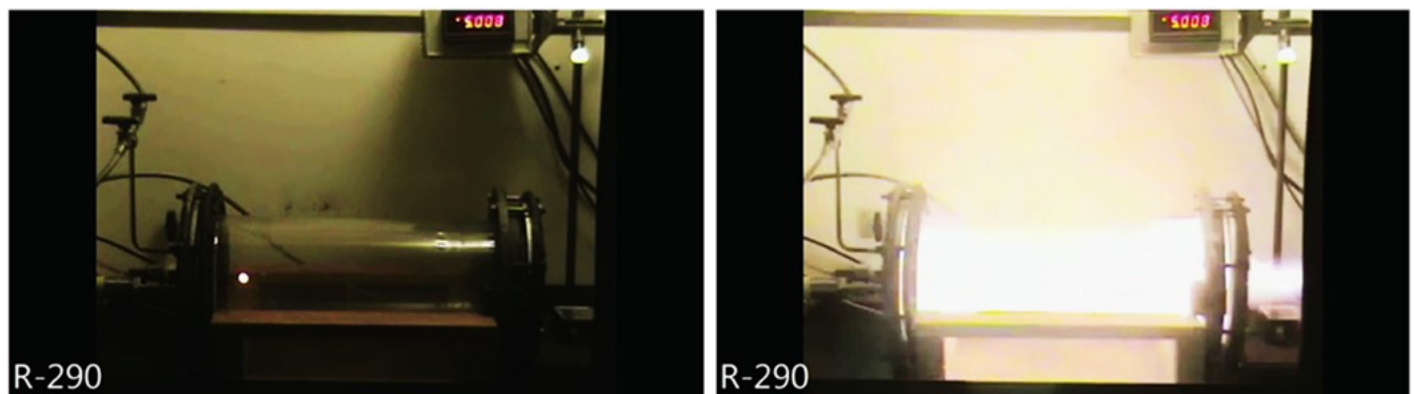
Tanto para el R-1234yf como para el R-32, el hilo fue calentado por dos minutos completos sin que ocurrieran igniciones. Sin embargo, con el R-290, la ignición empezó 3.53 segundos después de que el hilo incandescente fue activado.

Las imágenes en la Figura 6 muestran el inicio de la prueba (lado izquierdo), así como una imagen capturada 0.066 segundos después de la primera flama visual (lado derecho).

Tabla 4. Concentraciones de Refrigerante para la Prueba con Hilo Incandescente

# de Designación ASHRAE para el Refrigerante	R-1234yf	R-32	R-290
Grupo de Seguridad ASHRAE	A2L	A2L	A3
Concentración Estequiométrica (% en Vol.)	7.73	17.32	4.02
Concentración de Prueba (% en Vol.)	8.13	20.0	4.5
Carga de Prueba del Refrigerante (g)	3.28	3.68	0.70

Figura 6. Prueba de Hilo Incandescente con R-290 [Activación de Prueba (L), 0.066 s desde el Frente de Llama Inicial (R)]





Actividades Industriales e Implicaciones para los Códigos y Estándares

Durante los últimos años se ha realizado una gran cantidad de investigaciones para mejorar nuestro conocimiento acerca de cómo utilizar los refrigerantes inflamables con seguridad, y para conocer las diferencias relativas en la inflamabilidad de los diferentes grupos de seguridad (e. g., A2L vs. A3). La información obtenida a través de esta investigación, está

siendo utilizada para desarrollar códigos y estándares a través de toda la industria de ACR. Este conocimiento impacta directamente los tamaños de las cargas de refrigerante y otras técnicas de mitigación, utilizadas para limitar o eliminar los riesgos asociados con las fugas de estos productos.

El estándar ISO 5149-1 (2014), por ejemplo, ha considerado las diferencias en los grupos de seguridad al establecer límites a los tamaños de carga de los refrigerantes. Se han establecido límites variables de m_1 , m_2 y m_3 con base en los diferentes requerimientos de mitigación, y tienen límites superiores basados en los LFLs de los refrigerantes individuales. En el caso de los refrigerantes con inflamabilidad Clase A2L, estos límites superiores se incrementan en un factor de 1.5 – opuesto a los de las clases de inflamabilidad 2 y 3, “reconociendo la menor velocidad de llama de estos refrigerantes, que representa un riesgo de ignición y un impacto reducidos”.

La Tabla 5 presenta algunos ejemplos de tamaños de carga para los tres refrigerantes analizados en este reporte, con base en los límites establecidos en el ISO 5149. **Los límites de carga de los A2Ls son aproximadamente 11 a 12 veces más altos que para el propano.** Un gran número de otros estándares de seguridad también están estableciendo límites para la carga de refrigerante con base en sus LFLs. Esto permitirá el diseño de más aplicaciones que utilicen A2Ls en lugar de A3s.

Recientemente, un estudio realizado por el Instituto de Aire Acondicionado, Calefacción y Refrigeración (*Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute*) (**AHRI**) (Informe AHRI No. 8017 - 2017), reportó los resultados de

las pruebas hechas con fuentes de ignición potencialmente presentes en los hogares. Este trabajo encontró que muchas fuentes de ignición comunes no encenderían los refrigerantes A2L. Cuatro fuentes sí lo hicieron – hilo incandescente, cerillos de seguridad, inserción de la flama de un encendedor y fuga que incide en un mechero.

Actualmente, se están desarrollando estándares de seguridad que diferencian las fuentes de ignición para los refrigerantes A2L en comparación con los A2s y A3s.

El documento de la Comisión Electrotécnica Internacional (*International Electrotechnical Commission*) (IEC) 60335-2-40, 6° Edición (2018), por ejemplo, contiene la terminología que determina si un componente es una fuente de ignición para un A2L o no, con base en el uso de cubiertas antideflagrantes, efecto de extinción (*quenching*), y el tamaño de la apertura o los niveles de la carga en el interruptor eléctrico. Debido a que muchos componentes que serían fuentes de ignición para los A3s podrían no serlo para los A2Ls, una mayor gama de componentes eléctricos ya disponibles podría ser más fácilmente incorporada en el diseño de sistemas con los refrigerantes A2L de menor inflamabilidad. Existen otras investigaciones en desarrollo para perfeccionar la utilización de los refrigerantes inflamables en aplicaciones ACR.

Tabla 5. Ejemplos de Límites Superiores para la Carga de Refrigerante con Base en el Estándar ISO 5149 (2014)

ASHRAE #	R-1234yf	R-32	R-290
Grupo de Seguridad	A2L	A2L	A3
m_1 (kg)	1.734	1.842	0.152
m_2 (kg)	11.271	11.973	0.988
m_3 (kg)	56.355	59.865	4.940



Conclusiones



La normatividad diseñada para reducir el impacto de las emisiones de los refrigerantes al medio ambiente, está dirigiendo a la industria ACR hacia el uso de refrigerantes inflamables. Desde el punto de vista de las propiedades, los refrigerantes A2L tienen parámetros de inflamabilidad significativamente más favorables que los A3s, permitiendo tener mayores tamaños de carga y hacer una integración más sencilla de los componentes eléctricos en los diseños del sistema.

El desarrollo de los refrigerantes A2L, como los productos [Opteon™ XL](#), ha incrementado la capacidad de la industria para cumplir con seguridad los estrictos objetivos GWP en una amplia gama de aplicaciones. Se han realizado extensas investigaciones para demostrar las diferencias entre la seguridad relativa de los refrigerantes y la forma en que pueden ser aplicados exitosamente.

Al final, la eficaz implementación de los refrigerantes inflamables dependerá de la correcta integración del conocimiento obtenido a partir de estas investigaciones en los códigos y estándares del producto y la seguridad. Por otro lado, también se requiere un amplio esfuerzo de capacitación y educación en la industria, particularmente en el sector de servicios de RAC.



Acerca de los Refrigerantes Opteon™

El portafolio de refrigerantes Opteon™ ofrece el balance óptimo de sustentabilidad ambiental, desempeño, seguridad y costo para ayudar a cumplir las metas tanto de la normatividad como del negocio. Específicamente, el portafolio del refrigerante Opteon™ XL con muy bajo GWP, sustenta las transiciones de mercado requeridas por la regulación del protocolo de Montreal y enmienda de Kiagli y permite a los clientes seleccionar la solución óptima para ellos - considerando el desempeño, seguridad, sustentabilidad y costo total de la propiedad.



Opteon XL: El balance perfecto entre seguridad, sustentabilidad, eficiencia e inversión

Seguridad:

Con menor inflamabilidad y toxicidad, contribuye a los protocolos de seguridad general de las empresas, siempre que su manejo sea el recomendado.



Sustentabilidad:

Cumple con las principales regulaciones internacionales sobre potencial de calentamiento global (GWP).



Eficiencia:

Representa una reducción en el costo por kw de la capacidad de refrigeración o calefacción y en última instancia, las facturas de la energía.



Inversión:

Diseño, instalación y mantenimiento rentables para los equipos HVAC&R.



Para conocer más información acerca de los reemplazos para HFCs o comuníquese con nuestros expertos.



Opteon™



Chemours™

La información contenida en este documento se proporciona de manera gratuita y se basa en datos técnicos que Chemours considera confiables. Chemours no otorga garantías, expresas ni implícitas, y no acepta ninguna responsabilidad que esté relacionada con ningún uso de esta información. Ninguna parte del contenido deberá interpretarse como licencia para operar ni como recomendación para infringir cualesquier patentes o solicitudes de patente.

© 2024 The Chemours Company FC, LLC. Opteon™ y todos los logos asociados, son marcas registradas o derechos de autor de The Chemours Company FC, LLC. Chemours™ y el logo de Chemours son marcas registradas de The Chemours Company.

C-11869 (9/19)