

Efectos para la salud de los agentes limpios

Por **José Prada**

Los efectos en la salud por la exposición a agentes limpios usados en la supresión de incendios dependen del nivel de toxicidad y la dosificación. La dosificación se define como la relación entre la concentración mínima de exposición sin efectos adversos para la salud y el tiempo máximo de exposición a esa concentración.

La definición de agente limpio sólo incluye a las sustancias mencionadas en la NFPA 2001, y se entienden como agentes extintores volátiles o gaseosos que no son conductores de la electricidad y que no dejan residuos al evaporarse. Por ende, el CO₂ que se rige por la NFPA 12, los aerosoles a base de sales ni los sistemas con polvo químico seco, se consideran agentes limpios.

Los agentes limpios se dividen en dos categorías: los halocarbonados, que contienen uno o más de los elementos flúor, cloro, bromo o yodo; y los gases inertes, que contienen gases como: helio, neón, argón o nitrógeno en sus componentes. Entre los halogenados más conocidos se encuentran el HFC-227ea, el FE-25, y el FK-5-1-12, y entre los gases inertes, mezclas de argón y nitrógeno.

En los halogenados el mecanismo de supresión es por enfriamiento o por inhibición de la reacción en cadena del fuego, ningún agente halogenado controla el incendio por reducción



Figura 1: Ejemplo de sistema de agente limpio para protección de data center.



de oxígeno. En el caso de los gases inertes, el mecanismo de extinción es por inertización, reduciendo la concentración de oxígeno por debajo de la mínima que sostiene la combustión (típicamente del 15%).

Un agente limpio logra la extinción cuando su concentración en un volumen es igual o superior a un mínimo llamado concentración de diseño. Si esta concentración es igual o inferior a un valor llamado Nivel de Efectos Adversos no Observados (NOAEL), la exposición al agente no es nociva inmediatamente. Si la concentración de diseño es superior a un valor llamado Nivel Mínimo de Efectos Adversos Observables (LOAEL), podría ser tóxica.

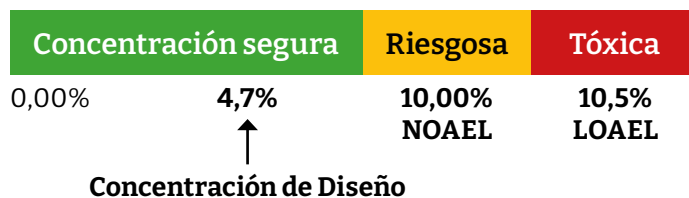


Figura 2: Explicación gráfica del NOAEL considerando una concentración de diseño arbitraria

Para comprender el concepto de NOAEL y LOAEL usaremos el gráfico de la figura 2 donde se muestran las concentraciones típicas de un agente halocarbonado y sus valores de toxicidad. Se muestra un valor de concentración de diseño de 4.70% como referencia. En el ejemplo el NOAEL es de 10%, es decir, una persona dentro de ese recinto podrá tolerar hasta el 10% de concentración sin mostrar signos de intoxicación, y si esta sigue subiendo, hasta el LOAEL, 10,5%, empezará a sentir signos de intoxicación.

El rango de concentración entre el valor de diseño (4,70%) y el NOAEL (10%) se llama "factor de seguridad" y expresa cuánta sobre concentración máxima puede tolerar una persona en un recinto con un agente determinado.

Cada agente posee un valor de concentración, NOAEL y LOAEL asociados. En el caso del HFC-227ea, la concentración de diseño típica es de 7%, su NOAEL es del 9% y su LOAEL es de 10%. Un cuadro resumen con valores típicos se muestra en la figura 3.

Cuando nos referimos a la exposición a un agente, esto se basa en la activación accidental del sistema de



supresión cuando aún existen ocupantes dentro de un área. El uso de un determinado agente se basa en la clasificación de los espacios, como a continuación se definen:

- **Espacio ocupable:** Sus dimensiones y características físicas permiten la entrada de una persona. Cualquier ambiente, donde quepa una o más personas, se considera ocupable.
- **Espacio normalmente ocupado:** Es en el que se encuentran una o más personas en condiciones normales.
- **Espacio normalmente no ocupado:** Es el que normalmente no está ocupado, pero en el que pueden entrar ocasionalmente una o varias personas durante breves períodos.
- **Espacio no ocupable:** Recinto que tiene dimensiones y características físicas tales que no podría entrar en él una persona. También puede referirse a un recinto inaccesible.

Enfocándonos en la seguridad de los agentes limpios y sus efectos en la salud de los ocupantes, la NFPA 2001 establece que se permiten los sistemas de agentes halocarbonados para espacios normalmente ocupados hasta las concentraciones de NOAEL sin ningún límite de exposición (o dosing), y sobre el NOAEL (sin sobrepasar el LOAEL) hasta 5 minutos. Dicho en otras palabras, en el peor de los casos de concentración para un agente dado, dependiendo de cual agente se usa, una persona se podría exponer hasta por 5 minutos, sin que le cause efectos adversos (mareos por ejemplo) y nunca le producirá la muerte.

Un ejemplo de un agente supresor, no considerado agente limpio, cuyo NOAEL está por debajo de su concentración de diseño es el CO2. Las concentraciones típicas de diseño del CO2 están entre 30% y 65% mientras que su NOAEL está alrededor del 10% al 15%, esto implica que en el evento de una descarga accidental sería mortal para los ocupantes.

	HFC-227ea	FK-5-1-12	IG-541
Concentración máxima de diseño (%)	7%	4% al 6%	37,80%
NOAEL	9%	10%	43%
LOAEL	10,50%	>10%	52%
Margen de Seguridad	3% a 20%	67% a 150%	14%

Figura 3: Tabla comparativa de Concentración de Diseño, NOAEL y LOAEL para varios agentes limpios

Resumiendo rápidamente, un agente limpio que tenga un NOAEL muy por encima de su concentración de diseño, se considera seguro para los ocupantes de un espacio ocupable o normalmente ocupado, si este se libera en forma accidental y las personas se exponen al agente.

En el caso de que el agente tenga un bajo factor de seguridad, se recomienda su uso con restricciones de tiempo de exposición, y deben proveerse medios de notificación para la evacuación del recinto antes de la liberación del agente dentro de la ocupación, como también debe preferirse su uso en espacios no ocupables.

No obstante, existe evidencia de ensayos con humanos donde se demuestra que por ejemplo el FK-5-1-12 y el IG-541 pueden ser liberados dentro de ambientes ocupados, sin que los ocupantes muestren algún efecto fisiológico.



Figura 4: Descarga de CO2 en un ambiente no ocupado



Figura 5: Ensayos de descarga de IG-541

Resumiendo lo anterior, cuando un ambiente es ocupable, bien sea normalmente ocupado o no ocupado, deben usarse para el sistema de supresión agentes seguros para las personas (NOAEL mayor a la concentración de diseño) y serán más seguros aquellos que por su naturaleza o ensayos hayan demostrado ser seguros.

Un agente supresor no seguro para los ocupantes (como el CO₂) debe usarse sólo en aplicaciones de ambientes no ocupables (donde no pueden entrar personas por las características físicas del recinto, por ejemplo, un gabinete eléctrico inaccesible para una persona) y nunca en ambientes ocupables. Un ejemplo de un

ambiente ocupable es un túnel de cables como el que se muestra en la figura 6.

¿Y cómo sabemos de antemano que la concentración del agente será segura en caso de activación accidental? Estos valores de concentración de diseño y finales del agente se calculan mediante software y no empíricamente, por lo tanto, es poco probable que en un ambiente exista una sobre concentración tóxica por un agente limpio, sin que sea conocida de antemano. En la figura 7 se muestra un ejemplo de estos cálculos para fines de explicación.

Como se muestra en el recuadro azul, el software indica cual es la máxima concentración esperada en el recinto, y de ser superado el NOAEL (no se muestra) también lo indicaría como una advertencia.

Para finalizar, los sistemas de agentes limpios debidamente calculados e instalados, de acuerdo con las prerrogativas de la NFPA 2001 son seguros para los ocupantes, y su uso y seguridad es ampliamente reconocida en la industria de protección contra incendios. Es oportuno mencionar que es importante que los especialistas en seguridad ocupacional y público en general conozcan de la terminología relacionada con los agentes limpios para evitar confusiones respecto a su seguridad en los humanos.



Figura 6: Ejemplo de túnel de cables

System Acceptance Report	
System Discharge Time:	8,7 seconds
Percent Agent In Pipe:	30,1%
Percent Agent Before First Tee:	0,0%
Dead Volume:	0,0% (0,00 kg)
Enclosure Number:	1
Enclosure Name:	Tableros de Frio
Minimum Design Concentration:	4,70%
Adjusted Design Concentration:	4,74%
Predicted Concentration:	4,74%
Maximum Expected Agent Concentration:	4,89% (At 33,0 C)

Figura 7: Reporte de aceptación de un software de cálculo hidráulico de agente limpio