

USO DE PID PARA TOMAR DECISIONES RELATIVAS AL 10% DE LEL

Uno de los numerosos requisitos que se deben cumplir para permitir el acceso con seguridad a espacios reducidos, exigido en el estándar 29 CFR 1910.146 (estándar para entrada a espacios reducidos de OSHA) es la medición de la concentración de gases inflamables. Antes de acceder a un espacio reducido, el nivel de gases inflamables debe ser inferior al 10% de LEL (límite inferior de explosividad). El sensor utilizado más habitualmente para medir los LEL es el sensor de puente de Wheatstone/sonda catalítica/filamentos ("puente de Wheatstone"). A pesar de ser útiles en numerosas aplicaciones, en algunas ocasiones los sensores LEL con puente de Wheatstone no presentan suficiente sensibilidad a un producto químico en particular, o los productos químicos empleados en el entorno pueden dejar el sensor de puente de Wheatstone no operativo. En este tipo de circunstancias, los PID (detectores de fotoionización) pueden ofrecer una alternativa muy precisa y libre de envenenamiento para medir el 10% de LEL en espacios reducidos.

EXPLICACIÓN DE LOS SENSORES LEL

Un sensor LEL de puente de Wheatstone es una sencilla y pequeña resistencia eléctrica con dos elementos quemadores. Un elemento tiene un catalizador (como el platino) y el otro no. Ambos elementos se calientan a una determinada temperatura que normalmente, no soportaría la combustión. De esta manera, el elemento con catalizador "quema" el gas a una temperatura inferior y se calienta con respecto al elemento que no presenta catalizador. El elemento más caliente presenta mayor resistencia y el puente de Wheatstone mide la diferencia entre la resistencia de ambos elementos, que se correlaciona con el LEL. Desafortunadamente, los sensores de puente de Wheatstone fallan generando un estado de inseguridad y, cuando fallan, indican que existen niveles seguros de gases inflamables. El fallo y/o envenenamiento del sensor LEL de puente de Wheatstone sólo puede ser determinado mediante la comprobación del mismo con un gas de calibrado.



Limitaciones de los sensores LEL

- Los vapores de hidrocarburos "más pesados" tienen dificultades para difundirse en el sensor LEL y limitan su salida.
- Los productos químicos comunes pueden envenenar los sensores LEL.

1. Los vapores de hidrocarburos "más pesados" tienen dificultades para difundirse en el sensor LEL y limitan su salida

Algunos vapores de hidrocarburos "más pesados" (baja presión de vapor/elevado punto de inflamabilidad) tienen dificultades para difundirse a través del controlador de llamas de metal sinterizado en los sensores LEL. Este controlador de llamas es necesario para evitar que el sensor inicie un fuego por sí mismo y no previene que gases como el metano, propano y etano alcancen el puente de Wheatstone. Sin embargo, los hidrocarburos con baja presión de vapor/elevado punto de inflamabilidad como la gasolina, diesel, trementina, disolventes, etc. difunden más lentamente hacia el controlador de llamas, de forma que la cantidad de vapor que llega al puente de Wheatstone es menor y la respuesta del sensor es menor o inexistente.

2. Los productos químicos comunes pueden envenenar los sensores LEL

Incluso en una situación ideal, los sensores LEL con puente de Wheatstone tienen dificultades para medir numerosos hidrocarburos. Además, los productos químicos comunes pueden degradar y destruir el rendimiento del sensor LEL. Algunos actúan muy rápidamente (sustancias tóxicas agudas) y otros lo hacen más lentamente (sustancias tóxicas crónicas). Al igual que ocurre con la toxicidad en humanos, el "intoxicación" del sensor LEL con puente de Wheatstone depende de la dosis.

Sustancias tóxicas aguas de sensores LEL:

- Compuestos que contengan silicona
- Compuestos que contengan plomo
- Compuestos que contengan azufre
- Fosfatos y compuestos que contengan fósforo
- Hexametildisilazano (HMDS)

Unas pocas partes por millón (ppm) de estos compuestos son suficientes para degradar el rendimiento de un sensor LEL con puente de Wheatstone. El silicio es la más común de estas sustancias aguadas, y se encuentra en una amplia gama de productos, incluyendo los lubricantes, adhesivos, cauchos de silicona (incluyendo compuestos de calafateo y sellado), ceras y betunes, espumas de extinción de incendios y de supresión de vapores, etc.

Sustancias tóxicas crónicas de sensores LEL

- Sulfuro de hidrógeno
- Hidrocarburos halogenados (freones, tricloroetileno, cloruro de metileno)
- Estireno

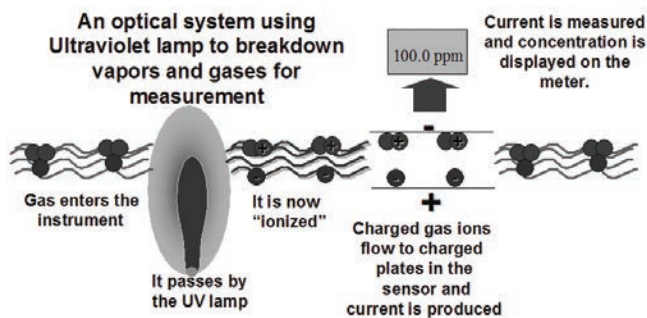
También denominadas “inhibidores”, las sustancias tóxicas crónicas de sensores LEL no actúan tan rápidamente sobre los sensores de puente de Wheatstone. A menudo, la exposición a un aire limpio permite la “quema y eliminación” de estos compuestos del sensor. Sin embargo, cuando se opera en una atmósfera que contenga dichas sustancias químicas, falla la salida del sensor LEL con puente de Wheatstone caerá a cero a la larga (para más información, consulte la Nota técnica TN-144: Uso de sustancias tóxicas de sensores LEL).

¿QUÉ ES UN PID?

Un detector de fotoionización es un detector que mide COVs (compuestos orgánicos volátiles) y otros gases tóxicos en concentraciones que van desde las ppb hasta las 10.000 ppm. Un PID es un monitor de alta sensibilidad y amplio espectro, como un “monitor LEL de bajo nivel”.

¿Cómo funciona un PID?

Un PID usa una fuente de luz ultravioleta (UV) (*Foto* = luz) para romper las sustancias químicas en iones positivos y negativos (*ionización*) que se pueden medir fácilmente con un *detector*. El detector mide la



carga del gas ionizado y convierte la señal en corriente. La corriente se amplifica y se muestra en el medidor como “ppm”. Tras la medición, los iones vuelven a formar el gas o vapor original. Los PID

de RAE Systems no dependen del oxígeno para realizar una medición y presentan protección en caso de fallos. Cuando la lámpara del PID no ilumina, el PID ofrece una alarma “lámpara” para que los operadores sepan inmediatamente que no está funcionando.

PID: alternativas para medición del 10% de LEL

Los detectores de fotoionización (PID) son sensores sensibles a hidrocarburos diseñados originalmente para medir hidrocarburos en niveles de ppm en la industria medioambiental. Los PID se adecuan perfectamente a la medición de mezclas de hidrocarburos. Dado que los PID emplean una tecnología óptica, son resistentes a las intoxicaciones que pueden arruinar los sensores de puente de Wheatstone. Recientes hallazgos en la tecnología PID los hacen compactos, robustos y suficientemente adecuados para realizar mediciones relativas a la entrada a espacios reducidos. (Para obtener una explicación detallada de los PID, consulte la Nota de aplicación AP-000).

PID: sensores más precisos para medición del 10% de LEL

A partir de la siguiente tabla, podemos ver que los PID proporcionarán las lecturas más consistentes para que la toma de decisiones al 10% de LEL en un entorno con hidrocarburos, en comparación con los sensores LEL de puente de Wheatstone, a la hora de medir concentraciones de combustible de aviación:

Sensor	Dato mostrado	Dato real (ppm)
Pantalla PID	800	800
PID bajo (-10%)	720	720
PID alto (+10%)	880	880
Pantalla sensor LEL	10	800
Sensor LEL bajo (-3%)	7	560
Sensor LEL alto (+3%)	13	1040

La precisión de los sensores afecta a la confianza del usuario

Al 10% de LEL, un PID es claramente el sensor más preciso:

- Rango de imprecisión del PID: 160 ppm
- Rango de imprecisión del sensor LEL: 480 ppm

Así, un sensor LEL con puente de Wheatstone presenta un rango de imprecisión tres veces mayor que un PID para una medición del 10% de LEL de combustible de aviación. Al revisar más de 175 sustancias químicas inflamables comunes “vistas” por un PID, podemos observar que los sensores LEL presentan un rango de imprecisión tres veces mayor que un PID para la medición del 10% de LEL.

Estándares OSHA para sensores LEL

El estándar 29 CFR 1910.146 es un estándar basado en el rendimiento y no especifica el tipo de sensor necesario. En el párrafo (c)(5)(ii)(C), el requisito simplemente se expone:

“Antes de que un empleado acceda al espacio, se debe comprobar la atmósfera interna con un instrumento de lectura directa calibrado para medir el contenido de oxígeno, la concentración de gases y vapores inflamables y la presencia de contaminantes del aire potencialmente tóxicos, en ese orden.”

Al igual que en el estándar 29 CFR 1910.146 no se especifica que se utilice un sensor de oxígeno con célula combustible para determinar el nivel de oxígeno (a pesar de que es el sensor más común para esta medición), tampoco se especifica que se usen sensores de puente de Wheatstone para medir la inflamabilidad. La afirmación crítica es que debe ser un “instrumento de lectura directa calibrado... para gases y vapores inflamables.”

Siempre que el PID pueda medir todos los vapores inflamables esperados en el entorno del espacio reducido, se podrá usar para tomar decisiones relativas al 10% de LEL.

Incluso si el PID no puede ver todos los gases inflamables presentes en un espacio reducido, se podrá seguir utilizando para complementar las lecturas de otros sensores de inflamabilidad.

PASOS A SEGUIR PARA USAR UN PID EN LA MEDICIÓN DEL 10% DE LEL PARA UN ÚNICO COMPUESTO QUÍMICO ESPECÍFICO

1. Asegúrese de que el PID es sensible al producto químico (el factor de corrección debe ser inferior a 10).
2. Averigüe el LEL de la sustancia química y multiplíquelo por 10.000 para obtener el LEL en partes por millón (ppm).
3. Divida este número por 10, y obtendrá el 10% de LEL en ppm.
4. Configure la alarma alta del PID al valor del 10% de LEL en ppm (en muchas ocasiones, la alarma baja se emplea como alarma de toxicidad).

Ejemplo:

1. El potencial de ionización del estireno es de 8,43 eV y el factor de corrección con una lámpara de 10,6 eV es de 0,4. Por ello, el PID es muy sensible al estireno y su medición se realiza con un buen ajuste (consulte AP-211: PID para control continuo de COV).
2. El LEL del estireno es de 0,9% en volumen o 9.000 ppm.

3. El 10% de LEL del estireno es 900 ppm.

4. Configure la alarma alta del PID en 900 ppm en unidades de estireno. La alarma baja se suele fijar a 20/50/100 ppm (límites AGCHI, NIOSH y OSHA) en función de las preferencias del usuario final.

TOMA DE DECISIONES RESPECTO AL 10% DE LEL CON UN PID EN UNA MEZCLA DE SUSTANCIAS QUÍMICAS CON COMPOSICIÓN VARIABLE

En muchas ocasiones podemos identificar las sustancias químicas presentes, pero sus concentraciones relativas varían a lo largo del proceso. También puede suceder que, en situaciones como la respuesta materiales peligrosos, no podamos predecir las sustancias químicas presentes ni sus concentraciones relativas. Por ello, debemos buscar otra forma de usar el PID para poder tomar decisiones relativas al LEL. Para configurar las alarmas en una mezcla variable o desconocida, debe interpretar de forma simultánea la inflamabilidad (LEL) y la sensibilidad del PID (factores de corrección) de todos los productos químicos involucrados.

Afortunadamente, esto es más sencillo de lo que parece. Todas las mezclas tienen un compuesto que es el más inflamable y que “controla” el valor de referencia de toda la mezcla. Identifique este producto y podrá determinar un punto de ajuste prudente para dicha mezcla. El supuesto básico es que si estamos protegidos frente a la “peor” sustancia química de una mezcla, estaremos protegidos frente al resto.

1. Exprese los 10% de LEL en unidades equivalentes
2. Busque el compuesto con el menor 10% de LEL en unidades equivalentes.
3. Si configura el PID para dicho punto de ajuste, estará protegido frente al resto de las sustancias químicas de la mezcla.

Tabla 1.

Nombre de la sustancia química	10% de LEL (ppm)
Etanol	3300
Tolueno	1100
Acetona	2500

La Tabla 1 muestra un ejemplo sencillo en el que el etanol es el compuesto químico menos inflamable y el tolueno es el más inflamable, ya que presenta el menor 10% de LEL. Esto se debe a que la mayoría de los usuarios están acostumbrados a tomar decisiones sólo en relación con la inflamabilidad.

Los usuarios de los medidores casi nunca tienen en cuenta que los medidores presentan sensibilidades variables frente a las distintas sustancias químicas. Por consiguiente, la tabla 1 sólo proporciona la mitad de la ecuación de la toma de decisiones. El 10% de LEL se expresa en unidades de diferentes sustancias químicas. Intentar utilizar un PID para tomar una decisión por lo que respecta a la “peor” sustancia química es como comparar 1000 manzanas con 100 piñas. Es fundamental expresar el 10% de LEL en una unidad de medición común.

Dado que los PID se calibran para isobutileno, y que los factores de corrección son expresiones de sensibilidad de PID a una sustancia química respecto al isobutileno, es algo fácil de llevar a cabo. Observemos esto, inicialmente, desde un punto de vista teórico:

$$10\% \text{ LEL}_{\text{sustancia química}} = 10\% \text{ LEL en unidades de la sustancia química (ppm)}$$

$$FC = \frac{\text{Respuesta de isobutileno en PID} \times \text{concentración del gas (ppmv)}}{\text{Conc. de isobutileno (ppmv)} \times \text{Respuesta del gas en PID}}$$

$$10\% \text{ LEL}_{\text{Isobutileno}} = \frac{10\% \text{ LEL}_{\text{sustancia química (ppmv)}}}{FC_{\text{sustancia química}}}$$

Por lo tanto, para obtener el 10% de LEL en unidades de isobutileno, se divide el límite de exposición en unidades de la sustancia química por la proporción de unidades de la sustancia química con respecto a las unidades de isobutileno.

Tabla 2.

Nombre de la sustancia química	FC 10,6 eV	10% LEL _{sustancia química}	10% LEL _{Isobutileno}
Etanol	12	3300	275
Tolueno	0.50	1100	2200
Acetona	1.1	2500	2273

En la tabla 2, la columna de la derecha expresa todos los LEL en unidades equivalentes de isobutileno. Ahora, las sustancias químicas se pueden comparar en igualdad de condiciones. Ya podemos comparar las manzanas con las piñas. Mientras que el etanol no presenta un 10% de LEL tan bajo como el tolueno, la baja sensibilidad del PID al etanol combinada con el mayor 10% de LEL de la tabla convierten al etanol en el “compuesto de control” cuando los 10% de LEL se expresan en unidades equivalentes de isobutileno. En este ejemplo, el PID permanece en una escala de medición de isobutileno y la alarma se configura para 275 ppm. En tanto que el PID no active la alarma, estaremos por debajo del 10% de LEL de las tres sustancias químicas.

Importante: En el resto de este análisis, el 10% de LEL en “unidades de isobutileno” calculados mediante

$$10\% \text{ LEL}_{\text{Isobutileno}} = \frac{10\% \text{ LEL}_{\text{sustancia química (ppmv)}}}{FC_{\text{sustancia química}}}$$

se denominarán Unidades RAE de 10% de LEL (UR 10% LEL) porque su cálculo incluye un factor de corrección para el PID de RAE, que se debe aplicar únicamente a los PIDs de RAE Systems. Se pueden realizar cálculos similares para cualquier otra marca de PID que tenga una lista publicada de factores de corrección.

Nota: la configuración de los límites de alarma de este modo es el enfoque más prudente y restrictivo, requerido por la información limitada.

COMPARACIÓN DE LOS PID DE RAE SYSTEMS PARA TOMA DE DECISIONES RELATIVAS AL 10% DE LEL CON EL NFPA 325

Existen 1.475 líquidos, gases y sólidos volátiles inflamables enumerados en la guía NFPA 325. De ellos, sólo 393 (27%) presentan LELs catalogados en la NFPA 325. De estos 393 sustancias químicas con LEL catalogados, RAE Systems tiene factores de corrección para 117 (30%), para los que un PID puede medir el 10% de LEL.

La regla de 1000 ppm = 10% de LEL

El uso de la lógica de las unidades RAE permite usar el PID para ayudar a determinar los LEL. La Tabla 3 es una lista de las 128 sustancias químicas de la NFPA 325 y de las 178 sustancias químicas inflamables totales. Un PID RAE con una lámpara de 10,6 eV (la lámpara PID más común) configurado para las siguientes alarmas y sin emitir sonidos proporciona protección de 10% de LEL frente a:

- **75 sustancias químicas de la NFPA 325 (110 en total) a una alarma de 1000 ppm**, incluyendo los principales disolventes como xileno, tolueno, LEK, MPK y acetona.
- **96 sustancias químicas de la NFPA 325 (141 en total) a una alarma de 500 ppm**, desde el acetato de isobutilo hasta el bromuro de vinilo.
- **116 sustancias químicas de la NFPA 325 (165 en total) a una alarma de 250 ppm**, desde el n- hexano hasta el bromuro de vinilo.
- **126 sustancias químicas de la NFPA 325 (175 en total) a una alarma de 100 ppm**, desde la nafta hasta el bromuro de vinilo.

Al examinar la Tabla 3: “10% de LEL para las sustancias químicas comunes medidas en una escala de isobutileno,” podemos ver que, para las sustancias químicas más comunes, un valor de referencia de 1.000 ppm en unidades de isobutileno es un valor de alarma apropiado para el 10% de LEL. Esto proporciona un punto de ajuste prudente para todos los combustibles líquidos, aromáticos (benceno, estireno, xileno, etc.), cetonas (MEK, MIBK, etc.) y para otras muchas sustancias químicas industriales comunes. Algunas sustancias, como los alcoholes, requieren unos puntos de ajuste más prudentes.

La configuración de una alarma a 100 ppm proporcionaría el nivel máximo de protección, pero también proporcionaría la mayor cantidad de alarmas. Contar con demasiadas alarmas sería algo parecido a anunciar constantemente “que viene el lobo” y reduciría la confianza del usuario en el PID.

Ejemplos:

Entrada a tanques de las alas de los aviones: Dificultad para medir el combustible de aviación con un puente de Wheatstone e intoxicación por silicona

Los programas de mantenimiento de aviones militares y comerciales se están estandarizando rápidamente con el uso de PID para entrada a espacios reducidos en tanques de alas de los aviones. En estos escenarios, no sólo existe una enorme dificultad para que los sensores de puente de Wheatstone midan una baja presión de vapor/elevado punto de inflamabilidad de líquidos inflamables como el combustible de aviación, sino que el silicio, una sustancia tóxica aguda para los sensores de puente de Wheatstone, está presente en muchas sustancias químicas empleadas en el mantenimiento de los aviones, desde los líquidos hidráulicos hasta los sellantes. El 10% de LEL del combustible de aviación es 800 ppm. La alarma alta del PID se fija en 800 en unidades de combustible de aviación. Este valor también ofrece protección para el 10% de LEL de todos los líquidos inflamables empleados en el mantenimiento de aviones, incluyendo los aromáticos y las cetonas (consulte la AP-200: PID y entrada a tanques en las alas de los aviones).

Planta de papel: dificultad para medir la trementina con un puente de Wheatstone

La trementina es un líquido inflamable con baja presión de vapor/elevado punto de inflamabilidad que es extremadamente difícil de medir con un sensor con puente de Wheatstone. Un trabajador experimentado midió un espacio reducido antes de realizar un trabajo de soldadura en una planta de papel y no detectó ningún vapor inflamable. Sin embargo, el trabajo de soldadura inflamó los vapores de trementina que no habían sido detectados por un sensor LEL con puente de Wheatstone en perfecto estado

de funcionamiento y calibrado. Posteriormente, esta instalación estandarizó el uso de PID con una alarma alta fijada a 800 ppm (10% de LEL en ppm) para entradas a espacios reducidos.

Planta de llenado de desodorantes: intoxicación aguda por silicona

Además de disolventes inflamables y propelentes, los desodorantes contienen cantidades apreciables de compuestos de silicona. Los sensores LEL con puente de Wheatstone suelen durar días o semanas en este tipo de aplicaciones. Sin embargo, las ópticas de los PID no resultan afectadas en estas condiciones y suponen una valiosa herramienta para realizar mediciones de 10% de LEL. Debido a la naturaleza de algunos propelentes, en este tipo de instalaciones puede ser necesario el uso de lámparas de 11,7 eV para poder medirlos todos. Aunque la vida útil de una lámpara de 11,7 eV es inferior a la de una lámpara PID de 10,6 eV estándar, sigue siendo muy superior a la del sensor con puente de Wheatstone en este tipo de entornos y proporciona protección en caso de fallos.

Limpieza de un tanque de gasolina: intoxicación por TEL

El tetraetilplomo (TEL) se ha usado históricamente como un aditivo para incrementar el octanaje de las gasolinas, aunque fue prohibido por ley por su toxicidad en humanos. Sin embargo, el TEL se puede encontrar aún al retirar viejos tanques de almacenamiento subterráneos. Un contratista colocó sensores LEL una y otra vez hasta que se determinó que los viejos tanques no contenían trazas de TEL. Cuando se realizan trabajos bajo tierra, siempre es importante tener un sensor de puente de Wheatstone para poder medir el metano (los PID no pueden medir metano). Pero la amenaza más inmediata durante la limpieza del tanque era la inflamabilidad de la gasolina y, en este aspecto, el PID proporciona resultados consistentes y fiables, incluso con la presencia de TEL.

Plantas de estireno: intoxicación cónica por estireno

El monómero del estireno polimeriza a temperaturas superiores a 93°C (200°F). La mayoría de los sensores LEL con puente de Wheatstone operan a esta temperatura o por encima de ella. Por ello, el estireno se polimerizará sobre el catalizador caliente, posiblemente haciendo que se vuelva no operativo. La exposición a aire limpio puede ayudar a invertir este proceso, pero en las plantas de producción de estireno es difícil encontrar un aire totalmente libre de estireno. Por ello, la vida útil de los sensores LEL con puente de Wheatstone en estas instalaciones es corta. Los PID han sido empleados en numerosas plantas de estireno para proporcionar un control continuo de los vapores de estireno con el fin de medir su toxicidad con un umbral de 20/50/100 ppm (límites de AGCIH, NIOSH y OSHA), dependiendo de las preferencias del usuario final.

Una alarma alta del PID de 900 ppm en unidades de estireno supone una alarma de 10% de LEL muy precisa.

Los PID como parte del enfoque integral para la medición del 10% de LEL

Los PID son una de las herramientas con mayor resolución a la hora de tomar decisiones relativas al control de gases.

¡Importante! Si se usa un PID como el único medio para medir los gases y vapores inflamables, se debe estar totalmente seguro de que el PID puede medir todos los gases inflamables esperados en el entorno.

Usado solo, o junto a otras técnicas de medición de gases inflamables (puente de Wheatstone, infrarrojos), los PID pueden ayudar a aumentar la confianza del operador en sus monitores de gases, al tratarse de un medio preciso y fiable de medir el 10% de LEL de muchos gases inflamables.

Tabla 3: unidades RAE 10% de LEL para sustancias químicas comunes medidas en una escala de isobutileno

Nota: las sustancias químicas de la guía NFPA 325 aparecen en negrita e cursiva.

Nombre de la sustancia química	FC	LEL (%)	LEL ppm	10% de LEL	UR 10% de LEL
Bromuro de vinilo	0,40	9	90000	9000	22500
t-1,2-Dicloroetano	0,45	9,7	97000	9700	21556
Tricloroetileno	0,54	8	80000	8000	14815
c-1,2-Dicloroetano	0,80	9,7	97000	9700	12125
Cloruro de vinilideno	0,85	6,5	65000	6500	7647
Metil mercaptano	0,60	3,9	39000	3900	6500
Tetraetil-plomo (como Pb)	0,30	1,8	18000	1800	6000
Bromuro de metilo	1,70	10	100000	10000	5882
Disulfuro de dimetilo	0,20	1,1	11000	1100	5500
1,2,4-Triclorobenceno	0,5	2,5	25000	2500	5435
Sulfuro de metilo	0,44	2,2	22000	2200	5000
Etil mercaptano	0,60	2,8	28000	2800	4667
Etilamina	0,80	3,5	35000	3500	4375
Sulfuro de etilo	0,51	2,2	22000	2200	4314
Metilamina	1,20	4,9	49000	4900	4083
alfa-Metil-estireno	0,50	1,9	19000	1900	3800
1,1,1,3,3,3-Hexametildisilazano	0,24	0,8	8000	800	3333

REFERENCIAS

Carol J. Maslansky, Steven P. Maslansky: Combustible Gas Indicators in Air Monitoring Instrumentation, Van Nostrand Reinhold, New York, 1993

NFPA: *NFPA 325 Guide to Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases and Volatile Solids*, 1994 Edition, Quincy, MA

NIOSH: *Pocket Guide to Chemical Hazards*, NIOSH Publications, Cincinnati, OH 1994

RAE Systems: Factores de corrección y potenciales de ionización (Nota técnica TN-106)

RAE Systems: TN-144: Uso de sustancias tóxicas de sensores LEL

RAE Systems: AP-200: PID y entrada a tanques en las alas de los aviones

RAE Systems: AP-211: PIDs para control continuo de COV

RAE Systems: Guía de notas técnicas y aplicaciones, "Principios de la detección de gases en espacios reducidos"

Nombre de la sustancia química	FC	LEL (%)	LEL ppm	10% de LEL	UR 10% de LEL
Clorobenceno	0,40	1,3	13000	1300	3250
1-Bromopropano	1,50	4,6	46000	4600	3067
o-Toluidina	0,50	1,5	15000	1500	3000
Mesitileno	0,35	1	10000	1000	2857
N,N-Dimetilformamida	0,80	2,2	22000	2200	2750
Anilina	0,48	1,3	13000	1300	2708
Piridina	0,68	1,8	18000	1800	2647
o-Pineno	0,31	0,8	8000	800	2581
Diacetona alcohol	0,70	1,8	18000	1800	2571
1,1-Dimetilhidrazina	0,78	2	20000	2000	2564
m-Xileno	0,43	1,1	11000	1100	2558
p-Xileno	0,45	1,1	11000	1100	2444
Isopreno	0,63	1,5	15000	1500	2381
Butadieno	0,85	2	20000	2000	2353
Trimetilamina	0,85	2	20000	2000	2353
Trementina	0,35	0,8	8000	800	2286
Furfural	0,92	2,1	21000	2100	2283
Acetona	1,10	2,5	25000	2500	2273

Nombre de la sustancia química	FC	LEL (%)	LEL ppm	10% de LEL	UR 10% de LEL
Benceno	0,53	1,2	12000	1200	2264
N,N-Dimetil acetamida	0,80	1,8	18000	1800	2250
Estireno	0,40	0,9	9000	900	2250
Tolueno	0,50	1,1	11000	1100	2200
Acetato de vinilo	1,20	2,6	26000	2600	2167
Naftaleno	0,42	0,9	9000	900	2143
Metilhidrazina (Monometilhidrazina)	1,20	2,5	25000	2500	2083
Cloruro de benzoilo	0,6	1,2	12000	1200	2000
2,3-Dicloro-1-propeno	1,30	2,6	26000	2600	2000
Dietilentriamina	1,00	2	20000	2000	2000
Crotonaldehído	1,10	2,1	21000	2100	1909
Metil-t-butil éter	0,91	1,7	17000	1700	1868
Dimetilamina	1,50	2,8	28000	2800	1867
Dietilamina	0,97	1,8	18000	1800	1856
Xilenos (isómeros o-, m-, p -)	0,49	0,9	9000	900	1837
Cloruro de bencilo	0,60	1,1	11000	1100	1833
Silicato de etilo	0,71	1,3	13000	1300	1831
1,4 -Dioxano	1,10	2	20000	2000	1818
Isobutileno	1,00	1,8	18000	1800	1800
Fenol	1,00	1,8	18000	1800	1800
Cloruro de vinilo	2,00	3,6	36000	3600	1800
1-Buteno	0,90	1,6	16000	1600	1778
Isopropil éter	0,80	1,4	14000	1400	1750
1-Vinil-2-pirrolidinona	0,80	1,4	14000	1400	1750
Dietil éter	1,10	1,9	19000	1900	1727
Cianuro de bencilo	0,60	1	10000	1000	1667
Diciclopentadieno	0,48	0,8	8000	800	1667
Cumeno	0,54	0,9	9000	900	1667
Gasolina nº 1	0,85	1,4	14000	1400	1647
Metiletilcetona	0,86	1,4	14000	1400	1628
Ciclohexeno	0,80	1,3	13000	1300	1625
N-Metil-2-pirrolidinona	0,80	1,3	13000	1300	1625
2-Pentanona (Metilpropilcetona)	0,93	1,5	15000	1500	1613
Acetato de propilenglicol monometil éter	1,00	1,6	16000	1600	1600
Destilados de petróleo	0,71	1,1	11000	1100	1549
Amoniaco	9,70	1,5	#####	15000	1546
n-Butilamina	1,10	1,7	17000	1700	1545

Nombre de la sustancia química	FC	LEL (%)	LEL ppm	10% de LEL	UR 10% de LEL
Etilbenceno	0,52	0,8	8000	800	1538
o-Xileno	0,59	0,9	9000	900	1525
1-Hexeno	0,80	1,2	12000	1200	1500
Hexona (Metilisobutilcetona)	0,80	1,2	12000	1200	1500
Diisopropilamina	0,74	1,1	11000	1100	1486
Piperileno, mezcla de isómeros	0,69	1	10000	1000	1449
3-Picolina	0,90	1,3	13000	1300	1444
Propeno	1,40	2	20000	2000	1429
Gasolina nº 2, 92 octanos	1,00	1,4	14000	1400	1400
1,3-Dicloro-1-propeno	0,96	1,3	13000	1300	1354
Combustible de aviación JP-5	0,60	0,8	8000	800	1333
Combustible de aviación JP-8	0,6	0,8	8000	800	1333
2-Metiloxietoxietanol	1,20	1,6	16000	1600	1333
beta-Cloropreno	3,00	4	40000	4000	1333
Trietilamina	0,90	1,2	12000	1200	1333
2-Etoxietanol (Cellosolve)	1,30	1,7	17000	1700	1308
Combustible de aviación JP-4	1,00	1,3	13000	1300	1300
Ciclohexilamina	1,20	1,5	15000	1500	1250
Metilciclohexano	0,97	1,2	12000	1200	1237
Ciclohexanona	0,90	1,1	11000	1100	1222
Sulfuro de hidrógeno	3,30	4	40000	4000	1212
Combustible diesel nº 2	0,66	0,8	8000	800	1212
Propionaldehído	1,90	2,3	23000	2300	1211
Alcohol bencílico	1,10	1,3	13000	1300	1182
Tetrahidrofurano	1,70	2	20000	2000	1176
Queroseno	0,60	0,7	7000	700	1167
Metilisocianato	4,60	5,3	53000	5300	1152
Propilenglicol monometil éter	1,40	1,6	16000	1600	1143
Metil metacrilato	1,50	1,7	17000	1700	1133
Disolvente de Stoddard	0,71	0,8	8000	800	1127
Metil éter	3,10	3,4	34000	3400	1097
Disulfuro de carbono	1,20	1,3	13000	1300	1083
3-Dietilaminopropilamina	1,30	1,4	14000	1400	1077
Disolvente Isopar M	0,66	0,7	7000	700	1061
Alcohol alílico	2,40	2,5	25000	2500	1042

Nombre de la sustancia química	FC	LEL (%)	LEL ppm	10% de LEL	UR 10% de LEL
Nicotina	0,70	0,7	7000	700	1000
Éter de fenil o, vapor	0,70	0,7	7000	700	1000
Alarma 1.000 ppm					
Hidrazina	3,00	2,9	29000	2900	967
Nitrobenzono	1,90	1,8	18000	1800	947
Ciclohexano	1,40	1,3	13000	1300	929
1,2-Butoxietanol	1,20	1,1	11000	1100	917
Isooctano	1,20	1,1	11000	1100	917
Dicloroetil éter	3,00	2,7	27000	2700	900
Benzonitrilo	1,60	1,4	14000	1400	875
Combustible diesel nº 1	0,93	0,8	8000	800	860
Difenilo (Bifenilo)	0,70	0,6	6000	600	857
Bromobenceno	0,60	0,5	5000	500	833
Alcohol terc-butílico	2,90	2,4	24000	2400	828
Dietanolamina	2,00	1,6	16000	1600	800
Acrilato de metilo	3,70	2,8	28000	2800	757
Acetato de terc-butilo	2,00	1,5	15000	1500	750
Etanilamina	4,00	3	30000	3000	750
2-Metoxietanol	2,40	1,8	18000	1800	750
2-Etilhexil acrilato	1,10	0,8	8000	800	727
Acroleína	3,90	2,8	28000	2800	718
Caprolactama	2,00	1,4	14000	1400	700
Acetato de isopropilo	2,60	1,8	18000	1800	692
Cloruro de alilo	4,30	2,9	29000	2900	674
Acetaldehído	6,00	4	40000	4000	667
Acetato de n-butilo	2,60	1,7	17000	1700	654
Tolueno-2,4-diisocianato (TDI)	1,40	0,9	9000	900	643
Acrilato de etilo	2,40	1,4	14000	1400	583
Decano	1,40	0,8	8000	800	571
Decano	1,40	0,8	8000	800	571
Nonano	1,40	0,8	8000	800	571
Acetato de sec-butilo	3,00	1,7	17000	1700	567
n-Octano	1,80	1	10000	1000	556
Acetato de isobutilo	2,60	1,3	13000	1300	500
Alarma 500 ppm					
Acetato de n-propilo	3,50	1,7	17000	1700	486
1-Hexanol	2,50	1,2	12000	1200	480
Acetato de n-amilo	2,30	1,1	11000	1100	478

Nombre de la sustancia química	FC	LEL (%)	LEL ppm	10% de LEL	UR 10% de LEL
Acetato de isoamilo	2,10	1	10000	1000	476
Propilenglicol	5,50	2,6	26000	2600	473
Acetato de metilo	6,60	3,1	31000	3100	470
(S)-(-)-Lactato de etilo	3,20	1,5	15000	1500	469
Fosfina	3,90	1,79	17900	1790	459
Alcohol isobutílico	3,80	1,7	17000	1700	447
Epiclorohidrina	8,50	3,8	38000	3800	447
Anhídrido acético	6,10	2,7	27000	2700	443
Acetato de sec-amilo	2,30	1	10000	1000	435
Acetato de etilo	4,60	2	20000	2000	435
Alcohol sec-butílico	4,00	1,7	17000	1700	425
n-Heptano	2,80	1,05	10500	1050	375
Alcohol de n-propílico	6,00	2,2	22000	2200	367
Óxido de propileno	6,50	2,3	23000	2300	354
Alcohol isopropílico	6,00	2	20000	2000	333
Nafta (Alquitrán de hulla) {10% aromáticos-RAE}	2,80	0,9	9000	900	321
Undecano	2,00	0,6	6000	600	300
Alcohol n-butílico	4,70	1,4	14000	1400	298
Alcohol etílico	12,00	3,3	33000	3300	275
Eteno	10,00	2,7	27000	2700	270
n-Hexano	4,30	1,1	11000	1100	256
Alarma 250 ppm					
Alcohol amílico	5,00	1,2	12000	1200	240
Alcohol sec-amílico	5,00	1,2	12000	1200	240
Óxido de etileno	13,00	3	30000	3000	231
Ácido acrílico	12,00	2,4	24000	2400	200
Etilenglicol	16,00	3,2	32000	3200	200
Ácido acético	22,00	4	40000	4000	182
Sulfato de dimetilo	20,00	3,6	36000	3600	180
Pentano	8,40	1,5	15000	1500	179
Isopentano & todos los isómeros del pentano	8,20	1,4	14000	1400	171
Nafta (Alquitrán de hulla) {puramente alifático-RAE}	5,70	0,9	9000	900	158
Alarma 100 ppm					
Carbonato de propileno	62	1,8	18000	1800	29
Butano	67	1,6	16000	1600	24
Isobutano	100	1,6	16000	1600	16