

# USO DE PID PARA EVALUAR EL RIESGO DE EXPOSICIÓN EN ENTORNOS DESCONOCIDOS

## DECISIONES DE RIESGO BASADAS EN PID

Los detectores de fotoionización (PID) pueden medir compuestos orgánicos volátiles (COV) y otros gases tóxicos a concentraciones de partes por billón (ppb) hasta 10.000 partes por millón (ppm). Esta sensibilidad permite utilizar PID para tomar decisiones correctas e instantáneas en lo referente a los niveles de sustancias químicas ionizables a los que están expuestos los trabajadores. Mediante la determinación simultánea del nivel de sensibilidad en seres humanos y de la medición PID, se puede implementar un programa lógico de reducción del riesgo de contaminación atmosférica basado en la respuesta PID en entornos químicos conocidos y desconocidos.

### Determinación fundamental de dos sensibilidades

Para poder evaluar el riesgo de toxicidad con un PID, se deben determinar dos sensibilidades:

1. La primera es la sensibilidad humana, expresada en límites de exposición definidos por organismos como OSHA (Administración de Salud y Seguridad Ocupacional de EE. UU.), NIOSH (Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional de EE. UU.), ACGIH (Asociación Gubernamental de Higienistas Ocupacionales de EE. UU.) y otros organismos similares. Estos límites de exposición se suelen expresar en partes por millón (ppm) de cada sustancia química.
2. La segunda sensibilidad es la que se determina mediante el PID. Este factor de sensibilidad se denomina factor de corrección (FC) o, en ocasiones, factor de respuesta. El FC es la proporción de la sensibilidad PID con respecto a una sustancia química determinada mediante una referencia al gas de calibración del PID (isobutileno). Los FC son específicos para cada marca de PID (para obtener más información acerca de los FC y el modo en que funcionan los PID, consulte los documentos de RAE Systems AP-000 (un resumen sobre la formación para el uso de PID) y AP-211 (sobre los PID para el control continuo de COV)).

Esta relación se puede expresar del modo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Sensibilidad PID} + \text{sensibilidad humana} &= \text{decisión} \\ \text{O bien} \\ \text{FC} + \text{límite de exposición} &= \text{decisión} \end{aligned}$$

## Los factores de corrección son la clave

Los factores de corrección son la clave para aprovechar al máximo la capacidad de los PID para evaluar mezclas variables y entornos desconocidos. Son una medición de la sensibilidad PID con respecto a un gas determinado. Los FC permiten la calibración de un gas a la vez que leen directamente la concentración de otro gas, lo que elimina la necesidad de utilizar varios gases de calibración. Los fabricantes de PID determinan los factores de corrección mediante la medición de la respuesta de un PID a una concentración conocida del gas objetivo. Dado que los factores de corrección son específicos para cada instrumento o fabricante, es importante utilizar los FC del fabricante del PID. Por consiguiente, la mejor opción es elegir el fabricante de PID con el mayor número de FC. Los fabricantes de PID publican listas de FC y algunos integran esta información en el microprocesador del PID. Los PID con microprocesador, como MiniRAE 2000, pueden almacenar y aplicar automáticamente más de 100 FC.

## TRES ESCENARIOS DE CONFIGURACIÓN DE ALARMAS PID:

Para entender mejor una decisión que combine estas dos sensibilidades, podemos examinar tres ejemplos concretos de aplicación de un PID para tomar una decisión de límite de exposición:

- Un único gas o vapor
- Mezcla de gas y vapor con reposición constante
- Mezcla de gas y vapor con reposición variable

### 1. Alarmas PID para un único gas o vapor

Es relativamente fácil obtener información sobre una sola sustancia química:

- Identifique la sustancia química.
- Establezca el factor de corrección PID para la sustancia química según la lista del fabricante de PID. De este modo, se resuelve la ecuación para la sensibilidad PID.
- Busque los límites de exposición para la sustancia química (consulte la información de ACGIH, NIOHS y OSHA). De este modo, se resuelve la ecuación para la sensibilidad humana.
- Configure las alarmas PID según los límites de exposición.

Puesto que la mayoría de los PID pueden establecer automáticamente la correspondencia con respecto al FC, lo único que el usuario tiene que hacer, por ejemplo, es seleccionar "tolueno" en la biblioteca PID para que el PID mida en ppm de "tolueno". A continuación, si configura la alarma PID con el valor correspondiente (100 ppm para OSHA), el PID puede tomar las decisiones correctas en el caso del "tolueno". Por ejemplo:

$$0,5_{FC} \times 100 \text{ ppm}_{iso} = 50 \text{ ppm}_{tolueno}$$

Límite de exposición = 100ppm<sub>tolueno</sub>  
 Conclusión = la atmósfera es segura

## 2. Alarmas PID para una mezcla de gas y vapor con reposición constante

A menudo, los procesos no implican una sola sustancia química, sino un compuesto constituido por una mezcla de sustancias químicas tóxicas. Este "brebaje" de compuestos tóxicos requiere una mayor atención a la hora de determinar los puntos de ajuste de alarma. Si se puede identificar el contenido de la mezcla, debe resultar fácil determinar cada sustancia química y sus concentraciones mediante la etiqueta de contenido o las hojas de datos de seguridad de materiales. A continuación, se puede utilizar la siguiente ecuación para determinar la toxicidad de la mezcla:

$$LE_{mez} = \frac{1}{(X_1/LE_1 + X_2/LE_2 + X_3/LE_3 + \dots X_i/LE_i)}$$

"LE" es el límite de exposición y X es la fracción molecular (porcentaje por volumen) de cada sustancia química volátil. Asimismo, el factor de corrección para la mezcla se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$FC_{mez} = \frac{1}{(X_1/FC_1 + X_2/FC_2 + X_3/FC_3 + \dots X_i/FC_i)}$$

Para aclarar el uso de estas ecuaciones, vamos a examinar un ejemplo. Supongamos que recibe una queja por el olor a pintura y al investigar descubre que la pintura contiene un 15% de estireno y un 85% de xileno. A continuación, el límite de exposición se calcula del modo siguiente: 0.15 is 15% styrene

$$LE_{mez} = 1/(0,15/50 + 0,85/100) = 87 \text{ ppm}_{mez}$$

- 0,15 equivale al 15% de estireno
- 50 es el límite de exposición de 50 ppm para estireno

- 0,85 equivale al 85% de xileno
- 100 es el límite de exposición de 100 ppm para xileno

El factor de corrección se calcula de forma similar:

$$FC_{mez} = 1/(0,15/0,4 + 0,85/0,6) = 0,56$$

- 0,15 equivale al 15% de estireno
- 0,4 es el FC para estireno
- 0,85 equivale al 85% de xileno
- 0,6 es el FC para o-xileno

La lectura del área con olor a pintura equivale a 120 en el PID en unidades de isobutileno. Al multiplicar esta lectura por el factor de corrección de 0,56, la concentración real en unidades de mezcla equivale a 67,2 ppm. Esto es así con el límite de exposición calculado de 87 ppm de mezcla. Si la lectura equivale a 178 ppm en unidades de isobutileno, la concentración real equivaldría a 100 ppm de la mezcla, con 15 ppm de estireno y 85 ppm de xileno. Esta lectura de la mezcla supera el límite de exposición de 87, incluso aunque ninguno de los componentes superen los límites de exposición individuales.

**Nota:** hay disponible una hoja de cálculo de Excel al final de la versión en línea de la nota técnica TN-106 en [www.raesystems.com](http://www.raesystems.com). Permite calcular los FC y los límites de alarma para las mezclas compuestas.

## 3. Configuración de alarmas PID para una mezcla de gas y vapor con reposición variable: "compuesto de control"

En muchas ocasiones se pueden identificar las sustancias químicas presentes, pero sus concentraciones relativas varían durante el proceso. Además, en casos como el de la respuesta de materiales peligrosos, no se pueden prever las sustancias químicas presentes o sus concentraciones relativas. Por lo tanto, es necesario encontrar otro modo de utilizar el PID para tomar decisiones. La configuración de alarmas en una mezcla variable o desconocida supone que se debe interpretar tanto la sensibilidad humana (límites de exposición) como la sensibilidad PID (factores de corrección) para todas las sustancias químicas presentes. Afortunadamente, esto es más sencillo de lo que parece. Cada mezcla contiene un compuesto que es el más tóxico y "controla" el punto de ajuste para toda la mezcla. Si determina dicha sustancia química, puede determinar un punto de ajuste prudente para toda la mezcla. El supuesto básico es que si estamos protegidos frente a la "peor" sustancia química de una mezcla, estaremos protegidos frente al resto.

- Exprese todos los límites de exposición en unidades equivalentes.
- Busque el compuesto con los límites de exposición mínimos en unidades equivalentes.
- 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	Límite de exposición
Etanol	1000
Tolueno	100
Acetona	750

La tabla 1 es un ejemplo sencillo en que el etanol es el compuesto más seguro y el tolueno es el compuesto más tóxico. Esto se debe a que la mayoría de los usuarios están acostumbrados a tomar decisiones sólo en relación con la sensibilidad humana. Los usuarios de los medidores casi nunca tienen en cuenta que, al igual que los seres humanos, 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 límite de exposición se expresa en unidades de las distintas 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 los límites de exposición en una unidad de medida común. Dado que los PID se calibran con respecto al isobutileno y los factores de corrección son expresiones de la sensibilidad PID para una sustancia química relacionada con el isobutileno, este proceso resulta muy sencillo. En primer lugar, vamos a examinar este aspecto desde un punto de vista teórico:

$LE_{\text{sustancia química}}$ : Límite de exposición en unidades de la sustancia química (ppm).

A menos que se indique lo contrario, el LE suele ser una media ponderada en el tiempo (TWA) de 8 horas.

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

$$LE_{\text{isobutileno}} = \frac{LE_{\text{sustancia química}} (\text{ppmv})}{FC_{\text{sustancia química}}}$$

Por lo tanto, para obtener el límite de exposición 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 con 10,6 eV	$LE_{\text{sustancia química}}$	$LE_{\text{isobutileno}}$
Etanol	12	1000	<b>83</b>
Tolueno	0,50	100	<b>200</b>
Acetona	1,1	750	<b>682</b>

En la tabla 2, la columna de la derecha expresa todos los límites de exposición en unidades equivalentes de isobutileno. Ahora, las sustancias químicas se pueden comparar en igualdad de condiciones. Ya podemos comparar las manzanas con las piñas. Aunque los seres humanos no son tan sensibles al etanol como al tolueno, la baja sensibilidad de PID al etanol junto con el límite de exposición máximo de la tabla hacen que el etanol sea el "compuesto de control" si los límites de exposición se expresan en unidades de isobutileno equivalentes. En este ejemplo, el PID permanece en una escala de medición de isobutileno y la alarma se configura para 83 ppm. Mientras el PID no active la alarma, no se requiere protección respiratoria.

**Importante:** en el resto de este análisis, los límites de exposición en "unidades de isobutileno" calculados mediante

$$LE_{\text{isobutileno}} = \frac{LE_{\text{sustancia química}} (\text{ppmv})}{FC_{\text{sustancia química}}}$$

se denominan unidades RAE (RU) porque su cálculo implica el uso de un factor de corrección PID de RAE Systems que sólo se puede aplicar a los PID 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. Una vez que se conocen mejor las proporciones del compuesto, los métodos de la sección 2 permiten siempre una configuración de alarma más alta y menos restricciones de trabajo.

## USO DE LA UNIDAD LÓGICA RAE PARA CARACTERIZAR ENTORNOS DESCONOCIDOS

Las unidades RAE son una herramienta importante para los usuarios que necesitan caracterizar entornos desconocidos (técnicos de materiales peligrosos, profesionales de los sectores sanitario y de seguridad o asesores para la calidad atmosférica). Esta herramienta les permite medir el riesgo para ellos y el resto de las personas. Cuanto mayor sea la unidad RAE de la sustancia química, menor es el riesgo. Si la unidad RAE (equivalente de isobutileno) es inferior al umbral de una sustancia química concreta, no representa ningún

riesgo. Por ejemplo, si el PID lee 45 ppm de isobutileno en un área con vapores de tolueno (RU=400), estireno (RU=250) y cumeno (RU=92), estaremos protegidos porque la unidad RAE para estas tres sustancias químicas es muy superior a 45 ppm (consulte la tabla 3).

Los niveles aceptables de exposición pueden cambiar según las circunstancias. Con una respuesta de materiales peligrosos "normal" (por ejemplo, el vuelco de un camión), una alarma RU de 50 ppm puede ser la opción más apropiada para recurrir a la protección respiratoria porque el riesgo suele proceder de los hidrocarburos del combustible y una alarma RU de 50 es muy prudente para todos los hidrocarburos. No obstante, en un posible ataque terrorista con un agente químico, una RU de 1 ppm puede ser una opción más apropiada porque es inferior a LCT50 (concentración letal) para mostaza (LCT50 RU=385), sarín (LCT50 RU=2,61) y tabún (LCT50 RU=25). Las unidades RAE son sólo un indicador del nivel de riesgo en cualquier circunstancia. El usuario de PID debe utilizar todas las pistas presentes para tomar una decisión. En el ejemplo anterior, es necesario determinar también si hay personas afectadas. En caso contrario, podría tratarse de una falsa alarma. Si las víctimas presentan signos de exposición química, puede que sean necesarios más elementos de control para determinar el tipo de agente químico (consulte el documento AP-216 sobre el uso de PID en ataques terroristas con agentes químicos).

### Unidades RAE y sustancias químicas de la lista Z de OSHA

En la lista Z de OSHA se incluyen aproximadamente 436 compuestos químicos. A continuación, se proporciona un desglose aproximado:

- Compuestos ionizables o potencialmente ionizables: 270
- Vapores no ionizables con ionización potencial (IP) superior a 11,7 eV: 37
- Sólidos o partículas no ionizables: 131

De los 270 compuestos ionizables o potencialmente ionizables, RAE Systems dispone de factores de corrección (FC) para 121 compuestos con una lámpara de 10,6 eV (la lámpara PID más común). Estos 121 compuestos representan el 45% de los compuestos potencialmente ionizables de la lista Z.

### Regla de 50/50

La unidad lógica RAE permite utilizar el PID para determinar los procedimientos normalizados de trabajo, ya que se puede averiguar exactamente para qué sustancias químicas ofrece protección el PID con una lectura concreta en unidades de isobutileno. La tabla 3 es una lista de 174 sustancias químicas que combina los límites de exposición OSHA-Z, NIOSH, ACGIH, etc. Dado que estos límites se deben cumplir de acuerdo con las leyes vigentes, el límite de exposición de OSHA tiene prioridad en la tabla 3 siempre que haya una diferencia en los límites de exposición entre OSHA, NIOSH y ACGIH. Un PID de RAE Systems con una lámpara de 10,6 eV (la lámpara PID más común) configurado con las siguientes alarmas y sin señal audible ofrece protección frente a lo siguiente:

- **44 sustancias químicas con una alarma de 100 ppm**, incluye los principales disolventes (por ejemplo, xileno, tolueno, metiletilcetona, metilpropilcetona o acetona).
- **65 sustancias químicas con una alarma de a 50 ppm**, desde acetato amilo secundario hasta acetona.
- **81 sustancias químicas con una alarma de 25 ppm**, desde dietilamina hasta acetona.
- **105 sustancias químicas con una alarma de 10 ppm**, desde toluídina hasta acetona.
- **140 sustancias químicas con una alarma de 1 ppm**, desde dietilenotriamina hasta acetona. (**Nota:** se recomienda el sistema ppbRAE si se utiliza una alarma RU de 1 ppm).

Obviamente, la configuración de la alarma para 1 ppm ofrece el nivel de protección máximo y además proporciona la mayoría de las alarmas. Contar con demasiadas alarmas sería algo parecido a anunciar constantemente "que viene el lobo" y reduciría la confianza del usuario en el PID. Un punto de alarma de 1 ppm es similar a llevar siempre ropa protectora de nivel A. Los PID MultiRAE Plus y ToxiRAE de RAE Systems vienen configurados de fábrica con una alarma baja a 50 ppm con una escala de isobutileno. Este punto de alarma ofrece protección para algunas de las sustancias químicas más comunes de la industria y es un punto de equilibrio óptimo entre el exceso y la escasez de alarmas. Con una alarma de 50 ppm en unidades de isobutileno y un PID sin señal audible, los usuarios no necesitan vigilar más de 50 (65 exactamente) sustancias químicas comunes. Por ello, este método se llama "regla de 50/50" de RAE Systems.

**Tabla 3: puntos de alarma de la unidad RAE para una lámpara de 10,6 eV**

Nota: las sustancias químicas de la lista Z de OSHA aparecen en negrita cursiva.

Nombre de la sustancia química	FC	EX	RU-10,6
<b>Acetona</b>	<b>1,10</b>	<b>1000,000</b>	<b>909,09</b>
Queroseno	0,60	500,000	833,33
<b>Destilados de petróleo</b>	<b>0,71</b>	<b>500,000</b>	<b>704,23</b>
<b>Disolvente Stoddard</b>	<b>0,71</b>	<b>500,000</b>	<b>704,23</b>
<b>Éter isopropílico</b>	<b>0,80</b>	<b>500,000</b>	<b>625,00</b>
<b>Metilciclohexano</b>	<b>0,97</b>	<b>500,000</b>	<b>515,46</b>
Dicloroetileno, t-1,2-	0,45	200,000	444,44
<b>Tolueno</b>	<b>0,50</b>	<b>200,000</b>	<b>400,00</b>
Mostaza, destilada (LCT 50)	0,6	231,000	385,00
<b>Ciclohexeno</b>	<b>0,80</b>	<b>300,000</b>	<b>375,00</b>
<b>Éter dietílico</b>	<b>1,10</b>	<b>400,000</b>	<b>363,64</b>
Gasolina <sup>o</sup> 1	0,85	300,000	352,94
Pineno, a-	0,31	100,000	322,58
Gasolina 2, 92 octanos	1,00	300,000	300,000
<b>Trementina</b>	<b>0,35</b>	<b>100,000</b>	<b>285,71</b>
<b>Octano, n-</b>	<b>1,80</b>	<b>500,000</b>	<b>277,78</b>
Pineno, b-	0,37	100,000	270,27
Dicloroetileno, c-1,2-	0,80	200,000	250,00
<b>Estireno</b>	<b>0,40</b>	<b>100,000</b>	<b>250,00</b>
<b>Metiletilcetona</b>	<b>0,86</b>	<b>200,000</b>	<b>232,56</b>
<b>Xileno, m-</b>	<b>0,43</b>	<b>100,000</b>	<b>232,56</b>
<b>Xileno, p-</b>	<b>0,45</b>	<b>100,000</b>	<b>222,22</b>
<b>Pentanona (2-) (metilpropilcetona)</b>	<b>0,93</b>	<b>200,000</b>	<b>215,05</b>
<b>Ciclohexano</b>	<b>1,40</b>	<b>300,000</b>	<b>214,29</b>
<b>Xilenos (o-, m-, p- isómeros).</b>	<b>0,49</b>	<b>100,000</b>	<b>204,08</b>
<b>Metilestireno (alfa-)</b>	<b>0,50</b>	<b>100,000</b>	<b>200,00</b>
<b>Etilbenceno</b>	<b>0,52</b>	<b>100,000</b>	<b>192,31</b>
<b>Clorobenceno</b>	<b>0,40</b>	<b>75,000</b>	<b>187,50</b>
<b>Heptano, n-</b>	<b>2,80</b>	<b>500,000</b>	<b>178,50</b>
<b>Xileno, o-</b>	<b>0,59</b>	<b>100,000</b>	<b>169,49</b>
<b>Etoxietanol (2-), (Cellosolve)</b>	<b>1,30</b>	<b>200,000</b>	<b>153,85</b>
Gasóleo 2	0,66	100,000	151,52
Piperileno, mezcla de isómeros	0,69	100,000	144,93
Nonano	1,40	200,000	142,86
<b>Etilsilicato</b>	<b>0,71</b>	<b>100,000</b>	<b>140,85</b>

Nombre de la sustancia química	FC	EX	RU-10,6
<b>Hexona (metilisobutilcetona)</b>	<b>0,80</b>	<b>100,000</b>	<b>125,00</b>
<b>Pentano</b>	<b>8,40</b>	<b>1000,000</b>	<b>119,05</b>
<b>Tetrahidrofurano</b>	<b>1,70</b>	<b>200,000</b>	<b>117,65</b>
<b>Hexano, n-</b>	<b>4,30</b>	<b>500,000</b>	<b>116,28</b>
Gasóleo 1	0,93	100,000	107,53
<b>Diclorobenceno (o-)</b>	<b>0,47</b>	<b>50,000</b>	<b>106,38</b>
<b>Acetato de butilo, (terc-)</b>	<b>2,00</b>	<b>200,000</b>	<b>100,00</b>
Clorotolueno, o-	0,50	50,000	100,00
Acetato de éter monometílico de propilenglicol	1,00	100,000	100,00
<b>Alarma de 100 ppm</b>			
<b>Acetato de isopropilo</b>	<b>2,60</b>	<b>250,000</b>	<b>96,15</b>
<b>Cumeno</b>	<b>0,54</b>	<b>50,000</b>	<b>92,59</b>
<b>Tricloroetileno</b>	<b>0,54</b>	<b>50,000</b>	<b>92,59</b>
<b>Dioxano, 1,4-</b>	<b>1,10</b>	<b>100,000</b>	<b>90,91</b>
<b>Acetato de etilo</b>	<b>4,60</b>	<b>400,000</b>	<b>86,96</b>
Combustible de reactor JP-5	0,60	50,000	83,33
Combustible de reactor JP-8	0,60	50,000	83,33
<b>Alcohol etílico</b>	<b>12,00</b>	<b>1000,000</b>	<b>83,33</b>
Isopentano y todos los isómeros de pentano	8,20	600,000	73,17
<b>Alcohol de diacetona</b>	<b>0,70</b>	<b>50,000</b>	<b>71,43</b>
Mesitileno	0,35	25,000	71,43
Éter monometílico de propilenglicol	1,40	100,000	71,43
Acetato de butilo, (sec-)	3,00	200,000	66,67
<b>Alcohol isopropílico</b>	<b>6,00</b>	<b>400,000</b>	<b>66,67</b>
<b>Metilmetacrilato</b>	<b>1,50</b>	<b>100,000</b>	<b>66,67</b>
<b>Acetato de butilo, (n-)</b>	<b>2,60</b>	<b>150,000</b>	<b>57,69</b>
<b>Acetato de isobutilo</b>	<b>2,60</b>	<b>150,000</b>	<b>57,69</b>
<b>Acetato de propilo, (n-)</b>	<b>3,50</b>	<b>200,000</b>	<b>57,14</b>
<b>Ciclohexanona</b>	<b>0,90</b>	<b>50,000</b>	<b>55,56</b>
<b>Acetato de amilo, (sec-)</b>	<b>2,30</b>	<b>125,000</b>	<b>54,35</b>
Combustible de reactor JP-4	1,00	50,000	50,00
<b>Alarma de 50 ppm</b>			
<b>Acetato de isoamilo</b>	<b>2,10</b>	<b>100,000</b>	<b>47,62</b>
Éter metílico terciario- butílico	0,91	40,000	43,96
<b>Percloroetileno</b>	<b>0,57</b>	<b>25,000</b>	<b>43,86</b>
<b>Acetato de amilo, (n-)</b>	<b>2,30</b>	<b>100,000</b>	<b>43,48</b>
<b>Butoxietanol, 2-</b>	<b>1,20</b>	<b>50,000</b>	<b>41,67</b>
<b>Alcohol butílico, (sec-)</b>	<b>4,00</b>	<b>150,000</b>	<b>37,50</b>
Hexeno, 1-	0,80	30,000	37,50

Nombre de la sustancia química	FC	EX	RU-10,6
<b>Nafta (alquitrán de hulla)</b> {10% de aromáticos RAE}	<b>2,80</b>	<b>100,000</b>	<b>35,71</b>
<b>Alcohol butílico, (terc-)</b>	<b>2,90</b>	<b>100,000</b>	<b>34,48</b>
<b>Acetaldehído</b>	<b>6,00</b>	<b>200,000</b>	<b>33,33</b>
<b>Alcohol propílico, (n-)</b>	<b>6,00</b>	<b>200,000</b>	<b>33,33</b>
<b>Acetato de metilo</b>	<b>6,60</b>	<b>200,000</b>	<b>30,30</b>
<b>Trietilamina</b>	<b>0,90</b>	<b>25,000</b>	<b>27,78</b>
<b>Alcohol isobutílico</b>	<b>3,80</b>	<b>100,000</b>	<b>26,32</b>
<b>Dietilamina</b>	<b>0,97</b>	<b>25,000</b>	<b>25,77</b>
<b>Alarma de 25 ppm</b>			
Tabún (LCT50)	0,8	20,000	25,00
<b>Naftaleno</b>	<b>0,42</b>	<b>10,000</b>	<b>23,81</b>
<b>Yoduro de metilo</b>	<b>0,22</b>	<b>5,000</b>	<b>22,73</b>
<b>Alcohol butílico, (n-)</b>	<b>4,70</b>	<b>100,000</b>	<b>21,28</b>
Hexametildisilazano, 1,1,1,3,3,3-	0,24	5,000	20,83
<b>Nafta (alquitrán de hulla)</b> {alifático puro, RAE}	<b>5,70</b>	<b>100,000</b>	<b>17,54</b>
<b>Mercaptano butílico</b>	<b>0,60</b>	<b>10,000</b>	<b>16,67</b>
<b>Disulfuro de carbono</b>	<b>1,20</b>	<b>20,000</b>	<b>16,67</b>
<b>Mercaptano etílico</b>	<b>0,60</b>	<b>10,000</b>	<b>16,67</b>
<b>Mercaptano metílico</b>	<b>0,60</b>	<b>10,000</b>	<b>16,67</b>
<b>Óxido de propileno</b>	<b>6,50</b>	<b>100,000</b>	<b>15,38</b>
<b>Dimetilacetamida, N,N-</b>	<b>0,80</b>	<b>10,000</b>	<b>12,50</b>
<b>Dimetilformamida, N,N-</b>	<b>0,80</b>	<b>10,000</b>	<b>12,50</b>
<b>Etilamina</b>	<b>0,80</b>	<b>10,000</b>	<b>12,50</b>
Bromuro de vinilo	0,40	5,000	12,50
Butano	67,00	800,000	11,94
<b>Dibromoetano, 1,2-</b>	<b>1,70</b>	<b>20,000</b>	<b>11,76</b>
<b>Bromuro de metilo</b>	<b>1,70</b>	<b>20,000</b>	<b>11,76</b>
Trimetilamina	0,85	10,000	11,76
Triclorobenceno (1,2,4-)	0,46	5,000	10,87
<b>Anilina</b>	<b>0,48</b>	<b>5,000</b>	<b>10,42</b>
Diciclopentadieno	0,48	5,000	10,42
<b>Acrilato de etilo</b>	<b>2,40</b>	<b>25,000</b>	10,42
<b>Metoxietanol, 2-</b>	<b>2,40</b>	<b>25,000</b>	10,42
<b>Toluidina, o-</b>	<b>0,50</b>	<b>5,000</b>	10,00
<b>Alarma de 10 ppm</b>			
<b>Cloropreno (beta-)</b>	<b>3,00</b>	<b>25,000</b>	8,33
Ciclohexilamina	1,20	10,000	8,33
<b>Metilamina</b>	<b>1,20</b>	<b>10,000</b>	<b>8,33</b>

Nombre de la sustancia química	FC	EX	RU-10,6
Acetato de vinilo	1,20	10,000	8,33
Isobutano	100,00	800,000	8,00
<b>Piridina</b>	<b>0,68</b>	<b>5,000</b>	<b>7,35</b>
<b>Diisopropilamina</b>	<b>0,74</b>	<b>5,000</b>	<b>6,76</b>
<b>Alilglicidiléter</b>	<b>1,50</b>	<b>10,000</b>	<b>6,67</b>
<b>Dimetilamina</b>	<b>1,50</b>	<b>10,000</b>	<b>6,67</b>
Acrilato de butilo, n-	1,60	10,000	6,25
<b>Furfural</b>	<b>0,92</b>	<b>5,000</b>	<b>5,43</b>
<b>Amoníaco</b>	<b>9,70</b>	<b>50,000</b>	<b>5,15</b>
<b>Éter dicloroetílico</b>	<b>3,00</b>	<b>15,000</b>	<b>5,00</b>
Formamida	4,00	20,000	5,00
<b>Fenol</b>	<b>1,00</b>	<b>5,000</b>	<b>5,00</b>
<b>Óxido nítrico</b>	<b>5,20</b>	<b>25,000</b>	<b>4,81</b>
<b>Butilamina, n-</b>	<b>1,10</b>	<b>5,000</b>	<b>4,55</b>
Benzaldehído	0,50	2,000	4,00
Etilenglicol	16,00	50,000	3,13
<b>Ácido sulfhídrico</b>	<b>3,30</b>	<b>10,000</b>	<b>3,03</b>
Dimetiletilamina	1,00	3,000	3,00
Acrilato de metilo	<b>3,70</b>	<b>10,000</b>	<b>2,70</b>
Sarín (LCT50)	4,6	12,000	2,61
Caprolactama	2,00	5,000	2,50
<b>Benceno</b>	<b>0,53</b>	<b>1,000</b>	<b>1,89</b>
<b>Crotonaldehído</b>	<b>1,10</b>	<b>2,000</b>	<b>1,82</b>
Cianuro de bencilo	0,60	1,040	1,73
<b>Cloruro de bencilo</b>	<b>0,60</b>	<b>1,000</b>	<b>1,67</b>
<b>Imina propilénica</b>	<b>1,25</b>	<b>2,000</b>	<b>1,60</b>
Dietanolamina	2,00	3,000	1,50
<b>Éter fenílico, vapor</b>	<b>0,70</b>	<b>1,000</b>	<b>1,43</b>
Bromobenceno	0,60	0,780	1,30
Vinil-2-pirrolidinona, 1-	0,80	1,000	1,25
<b>Butadieno</b>	<b>0,85</b>	<b>1,000</b>	<b>1,18</b>
Dicloro-1-propeno 1,3-	0,96	1,000	1,04
Dietilenotriamina	1,00	1,000	1,00
<b>Yodo</b>	<b>0,10</b>	<b>0,100</b>	<b>1,00</b>
<b>Alarma de 1 ppm</b>			
Ácido acrílico	12,00	10,000	0,83
<b>Alcohol alílico</b>	<b>2,40</b>	<b>2,000</b>	<b>0,83</b>
Cloruro de benzoilo	0,6	0,500	0,83
<b>Anhídrido acético</b>	<b>6,10</b>	<b>5,000</b>	<b>0,82</b>
<b>Etanolamina (no recomendada)</b>	<b>4,00</b>	<b>3,000</b>	<b>0,75</b>

Nombre de la sustancia química	FC	EX	RU-10,6
<b>Dimetilhidracina, 1,1-</b>	<b>0,78</b>	<b>0,500</b>	<b>0,64</b>
Dimetilhidracina, 1,1-	0,78	0,500	0,64
Hidroperóxido de butilo, t-	1,6	1,000	0,63
Glutaraldehído	0,80	0,500	0,63
<b>Epiclorhidrina</b>	<b>8,50</b>	<b>5,000</b>	<b>0,59</b>
<b>Nitrobenceno</b>	<b>1,90</b>	<b>1,000</b>	<b>0,53</b>
<b>Cloruro de vinilo</b>	<b>2,00</b>	<b>1,000</b>	<b>0,50</b>
<b>Ácido acético</b>	<b>22,00</b>	<b>10,000</b>	<b>0,45</b>
Peróxido de metiletilcetona	2	0,700	0,35
<b>Hidracina</b>	<b>3,00</b>	<b>1,000</b>	<b>0,33</b>
<b>Dióxido de nitrógeno</b>	<b>16,00</b>	<b>5,000</b>	<b>0,31</b>
<b>Difenilo (bifenilo)</b>	<b>0,70</b>	<b>0,200</b>	<b>0,29</b>
Dicetena	2,00	0,500	0,25
<b>Cloruro de alilo</b>	<b>4,30</b>	<b>1,000</b>	<b>0,23</b>
<b>Bromoformo</b>	<b>2,50</b>	<b>0,500</b>	<b>0,20</b>
<b>Metilhidracina (hidracina monometilica)</b>	<b>1,20</b>	<b>0,200</b>	<b>0,17</b>
<b>Tricloruro de fósforo</b>	<b>4,00</b>	<b>0,500</b>	<b>0,13</b>
<b>Nicotina</b>	<b>0,70</b>	<b>0,075</b>	<b>0,11</b>
<b>Bromo</b>	<b>1,30</b>	<b>0,100</b>	<b>0,08</b>
<b>Óxido de etileno</b>	<b>13,00</b>	<b>1,000</b>	<b>0,08</b>
<b>Fosfina</b>	<b>3,90</b>	<b>0,300</b>	<b>0,08</b>
<b>Valores del aire exterior por debajo de lo normal, 0,05 ppm (50 ppb)</b>			
<b>Sulfato de dimetilo</b>	<b>20,00</b>	<b>1,000</b>	<b>0,05</b>
Tabún (TWA)	0,8	0,030	0,04

Nombre de la sustancia química	FC	EX	RU-10,6
<b>Plomo tetraetilo (como Pb)</b>	<b>0,30</b>	<b>0,008</b>	<b>0,03</b>
<b>Acroleína</b>	<b>3,90</b>	<b>0,100</b>	<b>0,03</b>
<b>Tolueno-2,4-diisocianato (TDI)</b>	1,40	<b>0,020</b>	<b>0,01</b>
Sarín (TWA)	4,6	0,030	0,01

## BIBLIOGRAFÍA

ACGIH, **2000 TLVs and BEIs**, ACGIH, Cincinnati, OH, 2000

Maslansky/Maslansky; **Air Monitoring Instrumentation**, Van Nostrand Reinhold, New York, 1993

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

OSHA: **1910.1000 TABLES Z-1**

RAE Systems: **Correction Factors, Ionization Potentials, and Calibration Characteristics** (Technical Note TN-106)

Wrenn, Christopher A.; **AP-211: PIDs for Continuous Monitoring of VOCs**, RAE System, San Jose, CA.

Wrenn, Christopher A.: **PID Training Outline**, RAE Systems, San Jose, CA