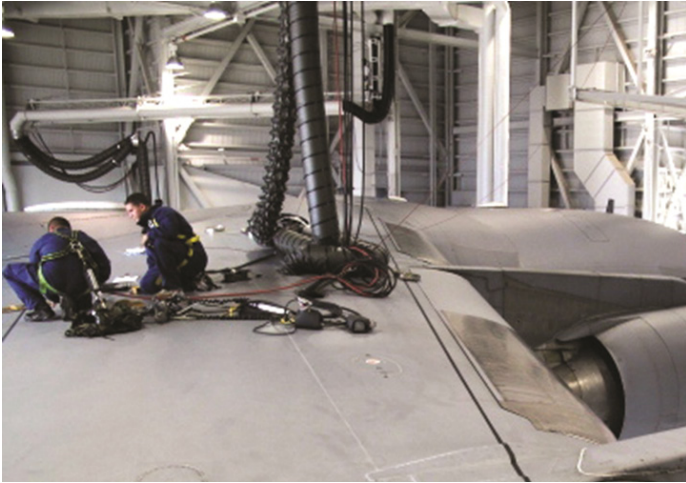


# PID Y ENTRADA A TANQUES EN LAS ALAS DE LOS AVIONES



El mantenimiento de los aviones exige que los trabajadores accedan a espacios reducidos que contienen vapores de combustible de aviación. Al igual que en todos los espacios reducidos, los monitores de gases son necesarios para garantizar que la atmósfera es segura para la entrada de los trabajadores. Debido a las propiedades físicas del combustible de aviación, se deben emplear técnicas especializadas de control de gases.

## ESTA NOTA DE APLICACIÓN TRATA LO SIGUIENTE:

- Los sensores de LEL (límite inferior de explosividad) convencionales han sido diseñados para medir metano y no tienen la sensibilidad necesaria para medir de forma precisa los vapores de combustible de aviación.
- Los detectores de fotoionización (PID) son sensores de hidrocarburos fiables y precisos y son especialmente adecuados para medir vapores de combustible de aviación.
- Los PID también se deben considerar para medir la toxicidad del combustible de aviación y de otras sustancias químicas usadas habitualmente en el mantenimiento de aviones.

## Usuarios potenciales

- Mantenimiento de aviones
- Fabricantes de combustible de aviación
- Fabricantes de aviones
- Aviones militares
- Aeropuertos municipales

## ¿POR QUÉ NO UTILIZAR UN SENSOR LEL CONVENCIONAL?

Aunque el combustible de aviación es inflamable, los sensores LEL encontrados en casi todos los monitores para espacios reducidos no presentan una sensibilidad suficiente para medir de forma precisa los vapores de combustible de aviación. Los trabajadores pueden ver y oler frecuentemente el combustible cuando se encuentran en el interior de un tanque de ala, aunque el medidor no lo haya detectado. Este hecho puede disminuir la confianza de los trabajadores en su monitor.

## Sensores LEL diseñados para medir metano

Los sensores LEL se diseñaron originalmente para resolver el problema de medición de los niveles de metano en las minas de carbón. La mayor parte de los sensores LEL utilizan un puente de Wheatstone para medir el calor liberado cuando se quema un gas inflamable en una perla catalítica. El aumento de temperatura provoca un cambio en la resistencia, que es medido y convertido a % de LEL.

## Sensores LEL simplificados

Un sensor de puente de Wheatstone (perla catalítica) es una sencilla y fina resistencia eléctrica con dos elementos quemadores. Un elemento tiene un catalizador (por ejemplo, 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. Así, este sensor mide de forma eficaz el calor liberado cuando se quema un gas.



## Limitaciones de los sensores LEL

Existen cuatro factores fundamentales que afectan al rendimiento de los sensores LEL con puente de Wheatstone en el entorno de la entrada a un tanque de ala:

1. Los gases se queman produciendo diferentes energías térmicas ("más caliente").

2. Los gases presentan diferentes valores de LEL, por lo que algunos gases presentan mayor número de moléculas que otros para el mismo % de LEL.
3. Los hidrocarburos “más pesados” tienen mayor dificultad para difundirse a través de un controlador de llamas hasta alcanzar el sensor LEL.
4. Las sustancias químicas empleadas habitualmente en el mantenimiento de aviones pueden intoxicar los sensores LEL.

### Respuesta global del sensor

La respuesta global del sensor es una combinación de los tres primeros factores. Si el gas se quema a una temperatura relativamente elevada, la respuesta será mayor. Si el gas tiene una concentración LEL elevada, la cantidad de gas presente para un % de LEL determinado y la respuesta serán mayores. Si el gas es “pesado” (elevado punto de ebullición y punto de inflamabilidad), la velocidad de difusión será menor y llegará menos gas al sensor por unidad de tiempo, generándose una respuesta más débil. El controlador de llamas con frita metálica que limita la difusión es necesario para que el sensor sea intrínsecamente seguro y para evitar que el sensor caliente desencadene una explosión. No evita que gases como el metano, propano y etano alcancen el puente de Wheatstone. Sin embargo, limita de forma importante la difusión de hidrocarburos pesados como el combustible de aviación, diesel y algunos disolventes.

La sensibilidad global de varios gases en comparación con el metano se enumera en la tabla siguiente. Así, por ejemplo, el amoníaco presenta una respuesta mayor que el metano, ya que ambos son gases ligeros pero el LEL del amoníaco es superior. El combustible de aviación quema “más caliente” que el metano, pero su respuesta global es mucho más débil porque es mucho más pesado y presenta un LEL mucho menor. Si un monitor LEL se calibra para metano y se usa para medir vapores de combustible de aviación, el monitor mostrará teóricamente un valor inferior a un tercio de la lectura real. En algunos casos prácticos, hemos observado una respuesta aún menor con los combustibles de aviación y hemos observado que los sensores LEL no eran capaces de leer los vapores de combustible de aviación.

Gas/Vapor	LEL (% vol)	Sensibilidad %
Acetona	2,2	45
Amoniaco	15,0	125
Benceno	1,2	40
Hexano	1,1	48
Combustible de aviación	0,8	30
<b>Metano</b>	<b>5,0</b>	<b>100</b>
MEK	1,8	38
Propano	2,0	53
Tolueno	1,2	40

Las lecturas de LEL se pueden corregir eligiendo gases de calibrado que sean más apropiados para el gas que se está midiendo. Es imposible tener un gas comprimido estándar para el combustible de aviación. Por ello, se recomienda utilizar un método de calibrado con “sustituto”. La tabla anterior muestra que la respuesta LEL del hexano se aproxima mucho más a la del combustible de aviación que a la del metano. Por este motivo, algunos fabricantes calibran sus sensores LEL para hexano. Sin embargo, la respuesta al combustible de aviación es el 68% de la del hexano. Así, si se calibra el sensor para hexano y se leen valores de 10% de LEL en un espacio que contenga vapores de combustible de aviación, el valor actual leído sería teóricamente de 16% de LEL.

Pruebas realizadas por laboratorios independientes como TRW han demostrado que los sensores con puente de Wheatstone no poseen una sensibilidad adecuada para medir combustible de aviación. Por ello, aunque su salida se aumente para proporcionar una baja respuesta del combustible de aviación, los sensores con puente de Wheatstone no poseen la sensibilidad necesaria para medir los niveles de combustible de aviación necesarios para proteger a los trabajadores que acceden a espacios reducidos.

### Intoxicación de sensores LEL en mantenimiento de aviones

Incluso bajo una situación ideal, los sensores LEL con perla catalítica tienen dificultades para medir los vapores de combustible de aviación. Por otra parte, las sustancias químicas usadas habitualmente en el mantenimiento de aviones pueden degradar seriamente el rendimiento del sensor LEL. Las intoxicaciones más graves son las producidas por compuestos de silicio. Unas pocas partes por millón (ppm) de un compuesto de silicio son suficientes para degradar el catalizador y para afectar al rendimiento del sensor LEL con puente de Wheatstone. Estos compuestos se usan en una amplia variedad de productos, incluyendo lubricantes, adhesivos, cauchos de silicona (incluyendo compuestos de calafateo y sellado) y otros. Los hidrocarburos clorados son otro grupo de compuestos comunes

que degradan el rendimiento del sensor LEL, y se encuentran frecuentemente en disolventes, incluyendo agentes desengrasantes y limpiadores usados en el interior y exterior de los aviones. Consulte la nota técnica TN-144 para obtener información adicional sobre la intoxicación de sensores y sobre la forma de tratarlos.

**PID: un sensor de combustible de aviación más adecuado**

Los PID son sensores sensibles a hidrocarburos, diseñados originalmente para medir niveles de ppm (partes por millón) de hidrocarburos en el entorno industrial. Los PID se adecuan perfectamente a la medición de mezclas de hidrocarburos como el combustible de aviación. Recientes hallazgos en la tecnología PID los hacen compactos, robustos y adecuados para el entorno generado durante el mantenimiento de aviones. La entrada a tanques en las alas de los aviones no se debería realizar si la concentración de combustible de aviación es superior al 10% de LEL (ó 800 ppm de vapor de combustible). Basándonos en la siguiente tabla, podemos ver que los PID proporcionarán las lecturas más consistentes para que la decisión se tome al 10% de LEL.

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.

**Medición de ppm de combustible de aviación para determinación de toxicidad**

TEI ACGIH (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales) estableció recientemente un TLV (valor límite umbral) a 8 horas de 200 mg/cm<sup>3</sup> (aproximadamente 35 ppm) para los productos de queroseno. La mayor parte de los combustibles de aviación son mezclas de queroseno que caen por debajo de este límite de exposición. Con el fin de alcanzar este límite de protección, se necesitan monitores para espacios reducidos que

puedan medir niveles de combustibles de aviación de sólo unas pocas ppm. Los PID ofrecen una solución compacta y fiable al problema de protección de los técnicos que tienen que trabajar con o cerca del combustible de aviación. Los sensores LEL con perla catalítica presentan un límite de detección de aprox. 1000 ppm para queroseno y, posiblemente, no puedan realizar mediciones en el rango de TLV.

**Niveles de acción del PID (a una toxicidad de 35 ppm):**

- Un trabajador puede entrar en un tanque de ala de avión sin protección respiratoria si el valor del PID está por debajo del nivel de alarma inferior (35 ppm)
- Un trabajador puede entrar en un tanque de ala de avión con protección respiratoria si el valor del PID está por encima del nivel de alarma inferior pero por debajo del nivel de alarma superior (entre 35 y 800 ppm)
- Un trabajador no puede entrar en un tanque de ala de avión si el PID muestra una alarma de nivel superior (por encima de 800 ppm o 10% de LEL)

**LOS PID PROTEGEN AL PERSONAL DE MANTENIMIENTO DE LA EXPOSICIÓN A SUSTANCIAS QUÍMICAS**

En el mantenimiento de aviones se emplean numerosas sustancias químicas, incluyendo pinturas, desengrasantes y disolventes. El PID es un analizador de hidrocarburos totales que mide todos los vapores de estas sustancias químicas. Aunque un PID no puede diferenciar los hidrocarburos más comunes, si la alarma del PID se fija para el "peor" producto, el trabajador estará seguro en presencia del resto de las sustancias químicas. La siguiente tabla muestra que, si la alarma baja se fija a 35 ppm para el combustible de aviación, el PID garantizará un ambiente seguro para la mayoría de las sustancias químicas más comúnmente usadas en los aviones.

Sustancia química	FC	Límite de exposición	Límite de exposición en equivalentes de isobutileno
Jet A/JP-8	0,67	35	52
Jet B/JP-4	1,0	35	35
JP-5	0,6	35	58
Jet Fuel TS	0,6	35	58
Acetona	1,1	250	227
MEK	0,86	200	233
MPK	0,93	150	161
TCE	0,54	50	93
PCE	0,57	25	44

La columna de “Límite de exposición en equivalentes de isobutileno” incluye todos los puntos de ajuste en una base equivalente teniendo en cuenta las diferentes sensibilidades del PID a las diferentes sustancias químicas. Esta columna muestra que el Jet B/JP-4 presenta el menor límite de exposición en “equivalentes”. Esto significa que este combustible de aviación es la “peor” sustancia química y, por ello, la alarma se fijará a 35 ppm.

Este valor puede reducir drásticamente el uso de tubos colorimétricos (“Dräger”) para medir las diferentes sustancias químicas durante la construcción y el mantenimiento de aviones.

- **FC o Factor de Corrección.** El FC es una medida de la sensibilidad del PID a un gas o vapor en particular. Cuanto menor es su valor, mayor sensibilidad tendrá el PID para ese compuesto.
- **Límite de exposición:** se define como el menor de los límites ACGIH, OSHA o NIOSH o de otra agencia (consulte “Permissible Exposure Levels for Selected Military Fuel Vapor,” National Academy Press).
- **Límite de exposición en equivalentes de isobutileno:** el límite ACGIH, OSHA y NIOSH TWA se convierte a un valor equivalente en un medidor calibrado para isobutileno (límite de exposición dividido por el FC).

### Ventajas del PID para el trabajo en aviones

Un PID posee la capacidad de medir el combustible de aviación a niveles inferiores a 1 ppm. Ninguna otra tecnología actualmente disponible posee la capacidad de medir los combustibles de aviación a estos niveles tan bajos (para obtener más información sobre los PID, consulte las publicaciones de RAE Systems AP-211: “PID para control continuo de COV” y la nota técnica 106: “Factores de corrección, energías de ionización y características de calibrado”). Esta capacidad única ofrece las siguientes ventajas para el mantenimiento de aviones:

- **Acceso más rápido a los tanques de las alas.** La medición de niveles de ppm permite que los trabajadores puedan entrar en los tanques de las alas en cuanto los niveles bajan de 35 ppm, en lugar de tener que esperar un tiempo preestablecido de ventilación mecánica para eliminación de los vapores de combustible (Boeing recomienda ventilar durante 24 horas). Esto reduce el tiempo de los aviones en tierra y puede reducir drásticamente los costes de mantenimiento totales al aumentar la disponibilidad de los aviones.
- **La ventilación no garantiza la eliminación de los vapores.** La medición de niveles de ppm puede proteger a los trabajadores si la temperatura aumenta mientras se encuentran en el interior de un tanque y el combustible comienza a evaporarse.

- **Reduce o elimina el uso de mascarillas.** Numerosos programas de entrada a tanques de aviones aconsejan el uso de mascarillas para vapores orgánicos para proteger a los trabajadores. Pero estas mascarillas reducen la eficiencia del trabajador, especialmente cuando se deben arrastrar por tanques estrechos y de difícil acceso. A menudo no las utilizan, al resultarles molestas, y los trabajadores van desprotegidos. El PID permite que los trabajadores entren en los tanques sin llevar una mascarilla, sabiendo que están completamente seguros.
- **Reduce o elimina el uso de tubos colorimétricos.** El PID se puede usar para medir otras sustancias químicas tóxicas empleadas en los aviones. Esto puede reducir o eliminar la necesidad de utilizar otras técnicas de medición como los tubos colorimétricos (“Dräger”) o técnicas de muestreo en higiene industrial.
- **Rastreo de derrames de combustible.** Tradicionalmente, se ha llamado a las empresas medioambientales para evaluar el daño causado por los derrames accidentales de combustible. El PID empleado en la protección de los trabajadores también se puede usar para supervisar la contaminación del suelo y del agua por combustible.

### EFECTOS DE LA PRESIÓN NEGATIVA EN LOS SENSORES DE PID, LEL, CO Y H<sub>2</sub>S

RAE Systems ha realizado pruebas en el MultiRAE para evaluar el rendimiento de los sensores de PID, tóxicos, combustible y oxígeno en el MultiRAE Plus bajo condiciones de presión negativa encontradas durante la comprobación de fugas realizadas en tanques de las alas de los aviones.

Presión	PID	LEL	CO	H <sub>2</sub> S	O <sub>2</sub>
0 psi	97,5	50,3 %	48	7,2	20,8%
- 2 psi	97,4	47,8 %	48	7,1	20,7%
- 5 psi	96,4	45,1 %	48	6,0	20,2%

A partir de estos datos de prueba, se deduce que los sensores de PID, oxígeno y tóxicos no se ven afectados significativamente por una presión negativa hasta -5 psi. En el sensor de combustible se puede apreciar una ligera caída de sensibilidad de aproximadamente un 5% bajo condiciones de ligera presión negativa (-2 psi).

### Nunca use tubos de muestra Tygon para combustible de aviones

Dado que los tubos de muestra Tygon absorben rápidamente el combustible de aviación, no se deben usar nunca para tomar muestras de espacios que contengan combustible de aviación. Use únicamente tubos de metal, teflón o tubos Tygon revestidos de teflón.

## **PID: LA NUEVA GENERACIÓN DE CONTROL DE GASES PARA LA INDUSTRIA AERONÁUTICA**

Los PID proporcionan un medio preciso, fiable y resistente a la intoxicación de medición de vapores de gases para determinación de los niveles de explosividad y toxicidad. Esta resistencia química, junto con su superior sensibilidad a hidrocarburos como el combustible de aviación, los convierte en la mejor elección para medir LEL de combustible de aviación, en comparación con los sensores de metano, que tradicionalmente han desempeñado este papel en el mantenimiento de aviones. La Marina estadounidense, la Fuerza aérea canadiense y numerosas líneas aéreas comerciales e instalaciones de mantenimiento ya han integrado los PID en sus programas de entrada a espacios reducidos.

## **REFERENCIAS**

**Carol J. Maslansky, Steven P. Maslansky:** Photoionization Detectors in *Air Monitoring Instrumentation*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1993

### **Permissible Exposure Levels for Selected Military Fuel**

**Vapor:** Committee on Toxicology, National Research Council

**NIOSH:** *Pocket Guide to Chemical Hazards*, NIOSH Publications, Cincinnati, OH, 2004

**ACGIH:** Guide to Occupational Exposure Values, ACGIH, Cincinnati, OH, 2004

**RAE Systems:** Nota técnica TN-106: Factores de corrección, energías de ionización y características de calibrado

**RAE Systems:** AP-211: PID para control continuo de COV

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