

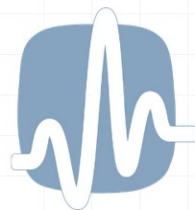


GUIA TECNICA

# GUIA DE CALIBRACION DE SENSORES Y DETECTORES DE GASES INDUSTRIALES

Procedimiento tecnico SOP-CAL-001-ES  
Calibracion y mantenimiento de detectores de gases

Sensovant Smart Sensing . Junio 2026



**SENSOVANT**  
SMART SENSING

## Table of Contents

1. Introduccion a la calibracion de sensores de gases
2. Por que es necesaria la calibracion de un sensor de gases
3. Fundamentos tecnicos de la calibracion de detectores de gases
4. Frecuencia de calibracion: cada cuanto debe calibrarse un detector de gases
5. Equipo necesario para la calibracion de sensores de gases
6. Condiciones ambientales para la calibracion
7. Procedimiento de calibracion paso a paso de sensores de gases
8. Diferencia entre Bump Test y Calibracion completa
9. Documentacion y registros de calibracion
10. Errores frecuentes durante la calibracion de detectores de gases
11. Almacenamiento y seguridad de gases de referencia
12. Sensibilidad cruzada y factores que afectan la deriva del sensor
13. Criterios de aceptacion y solucion de problemas
14. Como elegir el gas patron adecuado para la calibracion
15. Aplicaciones sectoriales de la calibracion de detectores de gases
16. Glosario de terminos

# 1. Introduccion a la calibracion de sensores de gases

La calibracion de sensores de gases constituye el pilar fundamental sobre el que descansa la seguridad de cualquier instalacion industrial expuesta a riesgos atmosfericos. Un procedimiento de calibracion de sensores de gases ejecutado con rigor metodologico y trazabilidad NIST garantiza que los detectores de gases fijos y portatiles proporcionen lecturas fiables en condiciones reales de trabajo, protegiendo asi tanto la vida de los operarios como la integridad del entorno productivo. La presente guia tecnica ofrece un marco exhaustivo para el mantenimiento de sensores de gases en entornos industriales, abordando desde los principios teoricos hasta la documentacion normativa exigida por la norma ISO/IEC 17025:2017.

## 1.1 Que es la calibracion de sensores de gases y por que es imprescindible

### ***1.1.1 Definicion de calibracion de detectores de gases: ajuste de la respuesta del sensor a valores conocidos de gas patron con trazabilidad NIST***

La calibracion de detectores de gases se define como el conjunto de operaciones que establece, en condiciones especificadas, la relacion entre los valores de una magnitud indicada por un sensor de gas industrial y los valores correspondientes a un material de referencia certificado (gas patron). Este proceso incluye el ajuste de la respuesta del transmisor de gases para que sus lecturas coincidan con las concentraciones conocidas del gas de prueba, eliminando las desviaciones acumuladas por envejecimiento del elemento sensible, contaminacion ambiental o deriva electronica.

La trazabilidad NIST representa un requisito no negociable en toda calibracion de detectores de gas industrial. Cada gas patron utilizado debe disponer de un certificado que demuestre su trazabilidad al National Institute of Standards and Technology (NIST) o a otro instituto nacional de metrologia reconocido. Esta cadena de trazabilidad asegura que las mediciones realizadas con el detector ATEX sean comparables a nivel internacional y legalmente defendibles en auditorias de prevencion de riesgos laborales (PRL). Sin trazabilidad NIST, una calibracion carece de validez metrologica y no cumple los criterios de acreditacion exigidos por organismos de certificacion.

### ***1.1.2 Objeto de la guia: cubrir la calibracion de detectores de gas industrial fijo y portatil conforme a ISO/IEC 17025:2017***

El objeto de esta guia tecnica es proporcionar un procedimiento de calibracion de sensores de gases estandarizado y documentado, aplicable tanto a sistemas fijos de deteccion permanente como a equipos portatiles de uso ocasional en espacios confinados y zonas de trabajo transitorias. El documento se estructura conforme a los requisitos de la norma ISO/IEC 17025:2017, que regula los criterios generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibracion, asegurando que cada fase del proceso – desde la preparacion del equipo hasta la emision del certificado de calibracion – cumpla con estandares de calidad reconocidos internacionalmente.

La norma ISO/IEC 17025:2017 exige que el laboratorio o area de calibracion defina procedimientos documentados para cada tipo de calibracion realizada, identifique las fuentes de incertidumbre de medicion, mantenga registros trazables y garantice la competencia del personal tecnico. Esta guia incorpora todos estos elementos, orientando al tecnico responsable en la ejecucion de la calibracion de sensores electroquimicos, la

calibración de sensores NDIR (Non-Dispersive Infrared) y otros principios de detección según las especificaciones del fabricante y la legislación aplicable en materia de seguridad industrial.

## 1.2 Alcance y aplicaciones sectoriales

### 1.2.1 Alcance: calibración de sensores electroquímicos, NDIR y catalíticos para detectores de gases tóxicos y explosivos

El alcance de esta guía abarca la calibración de detectores de gases tóxicos y la calibración de detectores de gases explosivos basados en tres tecnologías de detección predominantes en el mercado industrial. La calibración de sensores electroquímicos aplica a detectores de gases como monóxido de carbono (CO), sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), oxígeno (O<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y cloro (Cl<sub>2</sub>), utilizando una celda electroquímica que genera una señal eléctrica proporcional a la concentración del gas. La calibración de sensores NDIR se emplea para gases que absorben radiación infrarroja, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarburos y vapores orgánicos, ofreciendo alta selectividad y estabilidad a largo plazo. Los sensores catalíticos de combustión (pellistor) para detección de gases explosivos se calibran con gas metano (CH<sub>4</sub>) o propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) según el factor de corrección del fabricante.

Estos tres principios de detección cubren la amplia mayoría de aplicaciones de seguridad industrial, permitiendo al técnico abordar la verificación de sensores de gases en escenarios de riesgo químico, asfixia, incendio y explosión.

### 1.2.2 Sectores de aplicación: industria alimentaria, salas de calderas, parking, plantas químicas, espacios confinados

La calibración de detectores de gases tóxicos y explosivos resulta imprescindible en múltiples sectores productivos donde la presencia de atmósferas peligrosas constituye un riesgo inherente a la actividad. En la industria alimentaria, la refrigeración industrial con amoníaco (NH<sub>3</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) exige detectores fijos calibrados periódicamente para alertar de fugas que puedan afectar a la salud del personal. Las salas de calderas y cuartos de combustión requieren la monitorización continua de monóxido de carbono y oxígeno, siendo la calibración de detectores de gases la garantía de que los límites de exposición profesional no se superen. Los estacionamientos subterráneos y parkings necesitan detectores de gases de escape (CO y NO<sub>x</sub>) con verificación periódica para cumplir el Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios (RIPCI) y normativa de ventilación forzada. En plantas químicas y petroquímicas, donde coexisten múltiples sustancias peligrosas, la calibración de detectores de gas industrial se realiza con frecuencias superiores a las recomendadas por el fabricante debido a la agresividad del entorno. Finalmente, la entrada en espacios confinados – recipientes, silos, fosos de bombeo – exige un detector portátil calibrado y con prueba de funcionamiento (bump test) previo a cada uso, conforme a la normativa OSHA 1910.146.

### 1.2.3 Diferencia entre verificación de sensores de gases, bump test y calibración completa

Es frecuente que los técnicos de mantenimiento confundan la verificación de sensores de gases con la calibración completa, lo que puede derivar en prácticas de mantenimiento de sensores de gases insuficientes o, por el contrario, en un gasto excesivo de recursos. La siguiente distinción resulta fundamental para programar correctamente las tareas de mantenimiento preventivo:

Tipo de intervención	Definición	Duración aproximada	Periodicidad recomendada
Bump test	Exposición breve del sensor a un gas de concentración conocida para verificar que el detector responde y activa las alarmas; no ajusta el span ni el cero	1-2 minutos	Diaria (antes de cada turno o uso) según ISEA
Verificación de sensores de gases	Comparación de la lectura del sensor expuesto a gas patrón con el valor certificado del patrón, sin realizar ajuste; documenta la deriva	5-10 minutos	Mensual o según protocolo del cliente
Calibración completa	Procedimiento formal que incluye ajuste del punto cero (zero) y del span con gas patrón certificado, documentación del resultado y emisión de certificado con trazabilidad NIST	15-30 minutos	Según fabricante (típicamente 3-6 meses) o cuando la verificación excede los límites de tolerancia

La normativa OSHA 1910.146 y las recomendaciones del International Safety Equipment Association (ISEA) establecen que el bump test debe realizarse diariamente para equipos portátiles, mientras que la calibración completa se ejecuta cuando la verificación indica una deriva superior al margen de error aceptable, generalmente el 5% del valor de lectura o el 10% del Límite de Exposición Profesional (LEP).

## 1.3 Normativa y trazabilidad

### 1.3.1 Referencias normativas: ISO/IEC 17025:2017, NIST, OSHA 1910.146 y 1910.120

La ejecución del procedimiento de calibración de sensores de gases se enmarca dentro de un entramado normativo multidisciplinar que vincula la metrología, la seguridad industrial y la salud ocupacional. La norma ISO/IEC 17025:2017 establece los requisitos de competencia para laboratorios de calibración, incluyendo la gestión de equipos de medición, el control de procesos y la emisión de resultados con expresión de incertidumbre. La trazabilidad NIST proporciona la referencia metrología fundamental que vincula los gases patrón utilizados en el proceso a estándares primarios reconocidos internacionalmente.

En el ámbito de la seguridad laboral, la normativa OSHA 1910.146 regula la entrada y trabajo en espacios confinados, exigiendo que el equipo de detección de gases sea calibrado según las instrucciones del fabricante y comprobado funcionalmente antes de cada uso. La norma OSHA 1910.120 (HAZWOPER) aplica a operaciones de respuesta a emergencias con materiales peligrosos, donde los detectores de gases deben mantenerse en condiciones operativas óptimas mediante calibraciones periódicas verificables. En el contexto europeo, la Directiva ATEX 2014/34/UE y el Real Decreto 400/1996 sobre equipos de protección individual complementan este marco, exigiendo que todo detector ATEX destinado a atmósferas explosivas funcione dentro de sus parámetros certificados de seguridad.

### 1.3.2 Responsabilidades del técnico de calibración y del responsable de calidad

La correcta implementacion del programa de calibracion de detectores de gas industrial exige una distribucion clara de responsabilidades entre el personal tecnico y la direccion de calidad. Cada rol desempeña funciones diferenciadas pero complementarias dentro del sistema de gestion documentado conforme a ISO/IEC 17025:2017.

Funcion	Responsabilidades principales
Tecnico de calibracion	Ejecutar el procedimiento de calibracion de sensores de gases siguiendo el SOP documentado; preparar los gases patron con trazabilidad NIST verificada; registrar todos los parametros operativos (temperatura, humedad, presion); documentar los resultados en el formato establecido; identificar y reportar desviaciones fuera de tolerancia; mantener el equipo de calibracion y las estaciones de trabajo en condiciones operativas.
Responsable de calidad	Aprobar y mantener el procedimiento documentado de calibracion; garantizar la disponibilidad de recursos (gases patron, equipo, formacion); revisar y aprobar los registros de calibracion; investigar desviaciones no conformes; asegurar el cumplimiento de la norma ISO/IEC 17025:2017; gestionar la trazabilidad metrologica de todos los patrones; programar auditorias internas del proceso de calibracion; coordinar la acreditacion ante organismos oficiales cuando aplique.

El tecnico de calibracion representa el ultimo eslabon operativo del sistema de calidad. Su competencia tecnica debe estar demostrada mediante formacion especifica en cada tipo de sensor de gas industrial que calibra – ya se trate de sensores electroquimicos, NDIR o cataliticos – y debe registrar cada intervencion con la precision que exige un proceso acreditado. El responsable de calidad, por su parte, supervisa que el conjunto del sistema funcione como un todo integrado, desde la compra de gases patron certificados hasta el archivo de certificados de calibracion emitidos a los clientes internos o externos.

Cuando un detector de gases fijo o portatil supera los limites de tolerancia establecidos durante la calibracion, la responsabilidad del tecnico es inmediata: debe marcar el equipo como 'no conforme', retirarlo del servicio si procede y notificar al responsable de calidad para que se inicie la investigacion de la no conformidad. Esta cadena de comunicacion garantiza que ningun sensor de gas industrial con deriva excesiva permanezca operativo en una zona de riesgo, preservando la integridad del sistema de deteccion y, con ello, la seguridad de las personas expuestas.

## 2. Por que es necesaria la calibracion de un sensor de gases

Un detector de gases que no se somete a calibracion periodica pierde progresivamente su capacidad para detectar concentraciones peligrosas, transformandose en un riesgo latente para la seguridad industrial. La calibracion de sensores de gases no es un procedimiento opcional ni un mero tramite administrativo: constituye el mecanismo fundamental que garantiza que un sensor de gas industrial responda con precision ante la presencia real de gases toxicos, gases explosivos o atmosferas deficientes en oxigeno. Cuando un transmisor de gases deja de reflejar fielmente la concentracion ambiental, las decisiones que se toman sobre la base de sus lecturas resultan potencialmente letales.

### 2.1 Riesgos de no calibrar un detector de gases

#### 2.1.1 Falsas seguridades: por que un sensor de gas industrial sin calibrar puede ser mas peligroso que no tenerlo

Un dispositivo que muestra lecturas estables pero incorrectas genera una confianza infundada en el operario. Mientras que un equipo sin alimentacion o con fallo evidente alerta al tecnico de que existe un problema, un detector de gases fijo con deriva lenta y sin verificacion de sensores de gases emite senales aparentemente normales en presencia de concentraciones letales. Esta condicion de **falsa seguridad** es estadisticamente mas peligrosa que la ausencia total de deteccion, porque inhibe la adopcion de medidas preventivas.

La deriva natural de los sensores electroquimicos oscila tipicamente entre el 2 % y el 5 % del fondo de escala mensual, dependiendo de la exposicion ambiental, la temperatura operativa y la antiguedad del elemento sensible. Si un equipo permanece seis meses sin calibracion de detectores de gas industrial, el error acumulado puede superar el 20 %, situando la lectura real fuera de cualquier margen tolerable para la toma de decisiones criticas.

#### 2.1.2 Exposicion a gases toxicos (H<sub>2</sub>S, CO, NH<sub>3</sub>) y explosivos (CH<sub>4</sub>) sin deteccion efectiva

La regulacion OSHA 1910.146 (Espacios Confinados) y la 1910.120 (Operaciones de Respuesta a Emergencias por Sustancias Peligrosas) establecen requisitos explicitos de mantenimiento de sensores de gases en entornos donde la exposicion a compuestos peligrosos constituye un riesgo ocupacional verificable. En ausencia de calibracion programada, los umbrales de alarma de un detector ATEX pueden desplazarse hasta el punto de no activarse ante concentraciones que superan los limites de exposicion profesional (LEP).

El sulfuro de hidrogeno (H<sub>2</sub>S), con un limite de exposicion de 10 ppm en periodos de ocho horas, puede causar perdida del olfato a concentraciones superiores a 100 ppm, lo que anula la capacidad de deteccion humana. Un sensor de gas industrial sin calibrar que subestime la concentracion real deja al personal desprotegido ante un toxino que puede resultar mortal por encima de 700 ppm. De forma analoga, metano (CH<sub>4</sub>) con concentraciones entre el 5 % y el 15 % en volumen genera atmosferas explosivas que solo un detector correctamente calibrado puede identificar a tiempo.

#### 2.1.3 Responsabilidad legal y contractual del mantenimiento de sensores de gases

La responsabilidad por la seguridad de los equipos de deteccion recae legalmente sobre el titular de la actividad. La Ley 31/1995 de Prevencion de Riesgos Laborales, en su articulo 14, exige que los equipos de trabajo se mantengan en condiciones de seguridad adecuadas, incluyendo los sistemas de monitorizacion

ambiental. La ausencia de registros documentados de calibración de detectores de gases expone a la empresa a sanciones administrativas de hasta 819.780 EUR en casos de infracciones muy graves, según el artículo 49.3.b del Real Decreto Legislativo 5/2000.

Adicionalmente, las pólizas de seguro de responsabilidad civil industrial exigen la acreditación de mantenimiento preventivo como condición suspensiva de cobertura. Un siniestro ocurrido con un sensor de gas industrial fuera de su período de calibración puede dar lugar a denegación de indemnización y a reclamaciones por daños personales derivados de negligencia en la verificación de sensores de gases.

## **2.2 Consecuencias de una calibración incorrecta**

### ***2.2.1 Lecturas desplazadas: zero shift y span error en sensores electroquímicos***

Los sensores electroquímicos presentan dos fenómenos de deriva principales: el **zero shift** (desplazamiento del punto cero) y el **span error** (error de escala completa). El zero shift se manifiesta como una lectura distinta de cero en ausencia de gas de referencia, mientras que el span error implica una respuesta proporcional incorrecta al aplicar una concentración patrón conocida. Ambos fenómenos coexisten en la práctica operativa y se corrigen exclusivamente mediante la calibración de sensores electroquímicos con gases de referencia trazables.

Fenomeno de deriva	Causa principal	Efecto sobre la lectura	Riesgo asociado
Zero shift	Envejecimiento del electrodo, contaminación cruzada, temperatura extrema	Lectura de fondo distinta de cero en aire limpio	Alarma por fuga inexistente (falso positivo) o fallo de detección de gas real
Span error	Degradación del electrolito, pérdida de sensibilidad del catalizador	Subestimación proporcional de la concentración real	No detección de niveles tóxicos o explosivos hasta superar el umbral letal
Deriva combinada (zero shift + span error)	Exposición prolongada, falta de calibración periódica	Error no lineal creciente con la concentración	Lecturas impredecibles; incertidumbre total sobre la seguridad real
Bloqueo del sensor	Contaminantes pesados, polvo, humedad excesiva	Lectura congelada en valor fijo	Peligro máximo: sensor parece activo pero no responde al gas

La tabla anterior resume los fenómenos de deriva más frecuentes en la operativa de detectores de gases fijos. La combinación de zero shift y span error sin intervención correctiva genera una curva de respuesta del sensor que no tiene correlación alguna con la realidad ambiental, convirtiendo al equipo en un elemento decorativo sin valor de seguridad.

### 2.2.2 Consecuencias operativas: paradas de planta, sanciones y riesgo para la vida humana

Una calibración de sensores de gases ejecutada incorrectamente genera errores de lectura que pueden activar alarmas intempestivas o, en el caso más grave, omitir condiciones de riesgo real. Las alarmas espurias derivadas de zero shift descontrolado provocan paradas no programadas de planta, con costos directos asociados a la interrupción de procesos productivos y a la movilización de brigadas de emergencia sin causa justificada.

En sentido inverso, la subestimación sistemática de la concentración por span error expone al personal a gases tóxicos sin activación de los protocolos de evacuación. La tolerancia aceptable tras la calibración de detectores de gas industrial debe mantenerse dentro de un margen de  $\pm 4\%$  respecto al valor patrón aplicado, según los estándares de la industria. Cualquier desviación superior invalida el resultado y exige repetir el procedimiento completo.

### 2.2.3 Impacto en la homologación ATEX y validez del certificado de calibración

La directiva 2014/34/UE (ATEX) exige que los equipos destinados a zonas potencialmente explosivas mantengan sus condiciones de homologación a lo largo de su ciclo de vida. Un detector ATEX sin calibración periódica documentada pierde la presunción de conformidad que acompaña al marcado CE. En caso de inspección, la autoridad competente puede exigir la retirada del equipo de servicio hasta la presentación de un certificado de calibración vigente emitido por laboratorio acreditado.

El certificado de calibración solo tiene validez jurídica cuando acredita trazabilidad NIST (National Institute of Standards and Technology) o equivalente reconocido internacionalmente. Sin esta trazabilidad, el documento carece de efecto probatorio ante auditorías, juicios o reclamaciones de aseguradoras.

## 2.3 Beneficios de una calibración periódica profesional

### 2.3.1 Garantía de precisión y trazabilidad NIST en todo el ciclo de vida del sensor

La calibración periódica profesional restablece la función de transferencia del sensor de gas industrial, asegurando que cada incremento de concentración se refleje con la precisión declarada por el fabricante. La

aplicacion de gases patron certificados con trazabilidad NIST garantiza que la medicion pueda relacionarse, mediante una cadena ininterrumpida de comparaciones, con patrones nacionales e internacionales de referencia.

La trazabilidad NIST no es un requisito exclusivamente tecnico: constituye el sustento legal que permite utilizar los registros de calibracion de detectores de gases como prueba documental en procesos de verificacion de autoridades, auditorias de certificacion ISO 45001 y procedimientos judiciales por accidentes laborales. Un programa de calibracion de sensores de gases con trazabilidad NIST documentada eleva el nivel de madurez del sistema de gestion de prevencion de riesgos laborales (PRL) de la organizacion.

### ***2.3.2 Cumplimiento de normativas PRL y seguros de responsabilidad civil***

La implantacion de un programa estructurado de calibracion de sensores electroquimicos permite a la empresa demostrar diligencia en el cumplimiento de la normativa de prevencion de riesgos laborales. Los registros de verificacion de sensores de gases, archivados con periodicidad y accesibles en auditoria, constituyen evidencia objetiva de que el titular de la actividad ha adoptado las medidas tecnicas necesarias para mantener los equipos de deteccion en condiciones operativas seguras.

Desde la perspectiva aseguradora, la documentacion de mantenimiento de sensores de gases es un factor determinante en la fijacion de primas y en la validez de la cobertura. Las companias aseguradoras especializadas en riesgo industrial valoran positivamente la existencia de contratos de calibracion de detectores de gas industrial con proveedores certificados, traduciendo en reducciones de prima de hasta el 15 % en polizas de responsabilidad civil.

La inversion en calibracion periodica profesional es, en terminos economicos, infima comparada con el costo de un accidente laboral con gravedad. La calibracion de sensores de gases constituye asi una medida simultaneamente preventiva, legalmente exigida y financieramente racional para cualquier instalacion industrial que opere con gases toxicos, gases explosivos o atmosferas potencialmente peligrosas.

## 3. Fundamentos técnicos de la calibración de detectores de gases

La calibración de detectores de gases constituye un procedimiento metroológico que garantiza la correspondencia entre la lectura del instrumento y la concentración real del gas medido. Para comprender a fondo este proceso, es imprescindible analizar los principios físicos y químicos que subyacen a cada tecnología de sensor, así como dominar los conceptos operativos que rigen los ajustes metroológicos. En este capítulo se establecen los fundamentos técnicos que permiten al técnico industrial seleccionar el método de calibración adecuado y ejecutarlo con la precisión que exige la normativa de prevención de riesgos laborales.

### 3.1 Tipos de sensores y tecnologías de detección

Cada tecnología de detección responde a un principio fisicoquímico distinto, lo que condiciona directamente la frecuencia, el tipo de gas patrón requerido y los parámetros de flujo y tiempo empleados durante la calibración de sensores de gases industriales.

#### 3.1.1 Sensores electroquímicos: principio de funcionamiento y necesidad de calibración frecuente

Los sensores electroquímicos están constituidos por un electrolito acuoso, tres electrodos (trabajo, contrario y referencia) y una membrana permeable al gas. Cuando el gas objetivo difunde a través de la membrana y entra en contacto con el electrolito, se produce una reacción redox que genera una corriente eléctrica proporcional a la concentración del analito. Este principio resulta especialmente eficaz para la detección de gases tóxicos a bajas concentraciones. La calibración de sensores electroquímicos debe realizarse con especial rigor debido a la degradación progresiva del electrolito y al desgaste de los electrodos, fenómenos que provocan una deriva en la sensibilidad del sensor a lo largo del tiempo. Por este motivo, los protocolos de mantenimiento establecen intervalos de calibración de detectores de gases tóxicos particularmente estrictos, que en entornos agresivos pueden reducirse a intervalos semanales.

#### 3.1.2 Sensores NDIR (infrarrojo no dispersivo): calibración de CO<sub>2</sub> y gases que absorben IR

La tecnología NDIR (Non-Dispersive Infrared) se fundamenta en la absorción selectiva de radiación infrarroja por parte de las moléculas del gas a detectar. Una fuente emite luz infrarroja que atraviesa una cámara de medición; un filtro óptico selecciona la longitud de onda característica del gas objetivo y un detector mide la atenuación de la señal. Este método resulta idóneo para la calibración de CO<sub>2</sub>, hidrocarburos y otros compuestos que presentan bandas de absorción definidas en el espectro infrarrojo. La calibración de sensores NDIR presenta la ventaja de una mayor estabilidad a largo plazo frente a los sensores electroquímicos, ya que la fuente de infrarrojos y el detector experimentan una deriva mínima. No obstante, la suciedad acumulada en las ópticas o la condensación en la cámara de medición pueden introducir errores sistemáticos que solo una calibración periódica con gas patrón de concentración certificada permite corregir.

#### 3.1.3 Sensores catalíticos (pellistor): calibración de detectores de gases explosivos y LEL

Los sensores catalíticos, conocidos técnicamente como pellistors, operan mediante la combustión del gas sobre un elemento calefactor recubierto de catalizador. Cuando un gas combustible entra en contacto con la superficie catalítica, se oxida produciendo un aumento de temperatura que modifica la resistencia eléctrica del elemento detector. Este cambio de resistencia se traduce en una señal proporcional al porcentaje del Límite Inferior de Explosividad (LEL, Lower Explosive Limit). La calibración de detectores de gases explosivos equipados con sensores pellistor requiere un gas patrón de metano (CH<sub>4</sub>) o del gas específico a detectar, con

una concentracion equivalente al 50% del LEL como valor de span tipico. La exposicion prolongada a concentraciones elevadas de siliconas, plomo o compuestos de azufre puede envenenar el catalizador, haciendo imprescindible una verificacion frecuente mediante bump test y una calibracion completa cuando la respuesta se desvia mas del 10% del valor esperado.

#### ***3.1.4 Sensores de oxigeno (O2): zero calibration con nitrogeno y span calibration con aire***

Los sensores de oxigeno empleados en detectores de gases portatiles suelen ser de tipo galvanico o, en aplicaciones de alta precision, electroquimicos de configuracion particular. El sensor galvanico genera una corriente proporcional a la presion parcial de O<sub>2</sub> mediante una reaccion de reduccion en el catodo. Para la calibracion de O<sub>2</sub>, el procedimiento exige aplicar nitrogeno de alta pureza (99,999%) como gas de zero calibration, estableciendo el punto de referencia a 0% volumen de oxigeno. Posteriormente, el span calibration se ejecuta con aire ambiente fresco, cuya concentracion de O<sub>2</sub> se considera estandar al 20,9% volumen. Este doble ajuste compensa la degradacion natural del electrolito y el desgaste del anodo, garantizando lecturas fiables en el rango de 0-25% volumen critico para la evaluacion de atmosferas deficientes o enriquecidas en oxigeno.

La tabla siguiente resume las características técnicas de cada tecnología de sensor y sus requisitos específicos de calibración:

Tecnología de sensor	Principio de detección	Gases típicos	Gas patrón de calibración	Frecuencia recomendada
Electroquímico	Reacción redox en electrolito	H <sub>2</sub> S, CO, NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub>	Monogas certificado (25-50% del fondo de escala)	Cada 30 días (ambiente normal)
NDIR	Absorción de infrarrojo	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , hidrocarburos	Gas patrón IR estabilizado (ej. 5000 ppm CO <sub>2</sub> )	Cada 90-180 días
Catalítico (pellistor)	Combustión en catalizador	Gases combustibles (% LEL)	CH <sub>4</sub> al 50% LEL o gas específico	Cada 30 días
Galvánico / Electroquímico O <sub>2</sub>	Reducción de O <sub>2</sub> en cátodo	Oxígeno (deficiencia/exceso)	N <sub>2</sub> para zero; aire fresco 20,9% O <sub>2</sub> para span	Cada 30 días

## 3.2 Conceptos fundamentales de calibración

La calibración de detectores de gases tóxicos y explosivos se estructura en tres operaciones metrologías diferenciadas, cada una con un objetivo específico y una metodología propia que el técnico debe ejecutar siguiendo una secuencia estricta.

### 3.2.1 Zero calibration: establecimiento del punto cero con aire fresco o nitrógeno

El zero calibration consiste en exponer el sensor a una atmósfera libre del gas a medir, utilizando aire fresco ambiental verificado o nitrógeno de alta pureza, e igualar la lectura del instrumento al valor cero. El procedimiento estándar requiere aplicar un flujo de 0,5 litros por minuto (LPM) durante un mínimo de 2 minutos, tiempo necesario para que el sensor se estabilice y la señal se anule. Si el instrumento presenta una desviación de zero superior al 5% del fondo de escala después de este ajuste, el técnico debe investigar la posible saturación del sensor, obstrucción del filtro o deterioro del electrolito antes de proceder al span calibration.

### 3.2.2 Span calibration: ajuste de la sensibilidad con gas patrón de concentración certificada

Una vez establecido el punto cero, el span calibration ajusta la pendiente de respuesta del sensor aplicando una botella de calibración con gas patrón de concentración certificada, típicamente al 50% del fondo de escala del instrumento. El gas fluye a 0,5 LPM durante 1 minuto, tras lo cual el técnico ajusta la lectura del detector hasta coincidir con la concentración nominal del gas. Este procedimiento compensa la pérdida progresiva de sensibilidad del sensor y garantiza que las lecturas en el campo mantengan la incertidumbre declarada por el fabricante. Para la calibración de H<sub>2</sub>S, calibración de CH<sub>4</sub>, calibración de CO y otros gases específicos, el gas patrón debe coincidir exactamente con el analito que el sensor está configurado para detectar.

### 3.2.3 Bump test: verificación funcional rápida que no sustituye la calibración completa

El bump test constituye una verificación funcional rápida que consiste en exponer brevemente el detector a una concentración de gas superior al umbral de alarma para confirmar que el sensor responde y que los alarmadores visuales y acústicos se activan correctamente. A diferencia de la calibración completa, el bump test no ajusta los parámetros internos del instrumento ni compensa la deriva del sensor. La normativa internacional recomienda realizar un bump test diario antes del uso, especialmente en aplicaciones críticas de seguridad, mientras que la calibración completa (zero calibration y span calibration) se ejecuta en los intervalos programados de mantenimiento preventivo.

### 3.2.4 Trazabilidad NIST y certificado de análisis (COA) del gas de referencia

La validez metrología de toda calibración de sensores de gases descansa sobre la trazabilidad NIST (National Institute of Standards and Technology) de los gases de referencia empleados. La trazabilidad NIST asegura que la concentración declarada de la botella de calibración se ha establecido mediante una cadena documentada

de comparaciones con patrones nacionales, manteniendo una incertidumbre conocida y acotada en cada eslabon. Junto a cada botella de gas, el fabricante debe suministrar un certificado de analisis (COA, Certificate of Analysis) que indique la concentracion nominal, la incertidumbre expandida (tipicamente  $k=2$ , nivel de confianza del 95%), la fecha de fabricacion, el numero de lote y la fecha de caducidad. El tecnico debe conservar este certificado de analisis como parte del expediente documental de mantenimiento y verificar que el gas se encuentre dentro de su periodo de validez antes de cada calibracion.

### 3.3 Tipos de gases de referencia

La seleccion del gas de referencia constituye una decision tecnica que impacta directamente en la eficiencia del proceso de calibracion y en la gestion de inventarios del taller de mantenimiento.

#### 3.3.1 Monogas vs multigas: cuando usar cada tipo de botella de calibracion

Las botellas de calibracion monogas contienen un unico analito disuelto en un gas portador (aire nitrogenado o nitrogeno puro), mientras que las mezclas multigas incorporan varios componentes certificados en un mismo cilindro. Las mezclas multigas resultan especialmente ventajosas para la calibracion simultanea de detectores equipados con multiples sensores, como los portatiles de 4 o 5 gases (tipicamente LEL, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CO), reduciendo el tiempo de calibracion y minimizando el numero de conexiones de equipos. Sin embargo, para la calibracion de NH<sub>3</sub>, calibracion de NO<sub>2</sub> o gases altamente reactivos, el uso de mezclas multigas presenta riesgos de inestabilidad quimica por reacciones entre componentes, por lo que se recomienda emplear botellas monogas dedicadas que garanticen la integridad de la concentracion certificada.

#### 3.3.2 Gases especiales: calibracion de ozono (generador UV) y gases reactivos (NH<sub>3</sub>, PH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>)

Determinados compuestos presentan inestabilidad quimica tal que no pueden almacenarse en botellas de calibracion convencionales. El ozono (O<sub>3</sub>) representa el caso mas representativo, ya que su vida media en condiciones estandar no supera los minutos; por tanto, su calibracion exige un generador UV que produzca O<sub>3</sub> a partir de oxigeno mediante radiacion ultravioleta, ajustando la concentracion mediante un fotometro de referencia. Los gases reactivos como amoniaco (NH<sub>3</sub>), fosfina (PH<sub>3</sub>), dióxido de nitrogeno (NO<sub>2</sub>) y cloro (Cl<sub>2</sub>) presentan una estabilidad limitada en mezclas multigas, por lo que los fabricantes recomiendan utilizar cilindros de 34 litros como bump gas para verificaciones funcionales, reservando las mezclas de alta estabilidad en cilindros de aluminio tratado para la calibracion de span propiamente dicha.

#### 3.3.3 Vida util de los gases de referencia: 12-24 meses segun estabilidad de la mezcla

La vida util de los gases de referencia oscila entre 12 y 24 meses desde la fecha de fabricacion, dependiendo de la estabilidad quimica de cada componente. Los gases inertes como CO, CH<sub>4</sub> o CO<sub>2</sub> en matriz de aire seco mantienen su concentracion nominal durante 24 meses cuando se almacenan en cilindros de aluminio con tratamiento interior especial. Por el contrario, mezclas que incluyen componentes reactivos como NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S en bajas concentraciones o vapores organicos volatiles presentan una vida util mas corta, que puede reducirse a 12 meses o incluso menos. La tabla siguiente detalla los tipos de gases de referencia mas comunes, sus aplicaciones de calibracion y sus condiciones de estabilidad:

Tipo de gas / mezcla	Aplicacion principal	Concentracion tipica	Vida util	Consideraciones especiales
CH4 en aire (50% LEL)	Calibracion de detectores de gases explosivos	2,5% volumen (50% LEL)	24 meses	Gas estabilizado, uso general
CO en aire	Calibracion de CO en espacios confinados	50-100 ppm	24 meses	Componente estable en matriz seca
H2S en N2	Calibracion de H2S industrial	25-50 ppm	12-18 meses	Descomposicion lenta en altas humedades
CO2 en aire	Calibracion de CO2 / sensores NDIR	1000-5000 ppm	24 meses	Alta estabilidad, gas no reactivo
O2 en N2 (span 20,9%)	Calibracion de O2 (aire fresco)	20,9% volumen	24 meses	El aire ambiente validado sustituye al cilindro para span
NH3 en N2	Calibracion de NH3 industrial	50-100 ppm	12 meses	Gas reactivo; usar cilindro de aluminio tratado
Multigas (LEL/O2/H2S/CO)	Calibracion simultanea 4-5 gases	Mix estandar	12 meses	Verificar compatibilidad de componentes
Generador UV (O3)	Calibracion de ozono	0,1-1,0 ppm	N/A (generacion continua)	No almacenable; calibrar en sitio

La correcta gestion del inventario de gases de referencia incluye el registro de fechas de entrada, la rotacion por antiguedad (metodo FIFO) y la verificacion sistematica del certificado de analisis antes de cada uso. Un gas de referencia vencido invalida toda la cadena de trazabilidad NIST y compromete la validez legal de las mediciones realizadas con el detector calibrado.

## 4. Frecuencia de calibracion: cada cuanto debe calibrarse un detector de gases

La determinacion de la frecuencia de calibracion constituye uno de los puntos criticos dentro del programa de mantenimiento de sensores de gases de cualquier instalacion industrial. La pregunta cada cuanto calibrar un detector de gases no admite una unica respuesta valida para todos los escenarios: la calibracion de sensores de gases depende de multiples variables que incluyen el tipo de aplicacion, las condiciones ambientales, la naturaleza de los gases monitorizados y los requisitos regulatorios aplicables al sector. Este apartado establece los criterios tecnicos y normativos que permiten definir intervalos de calibracion de detectores de gases adaptados a cada contexto operativo, diferenciando entre la verificacion funcional diaria y la calibracion completa periodica.

### 4.1 Frecuencia minima obligatoria

Toda organizacion que utilice equipos de deteccion de gases toxicos o gases explosivos debe establecer un programa de calibracion documentado que cumpla, como minimo, con los requisitos regulatorios internacionales. La ausencia de un plan de calibracion de detectores de gases periodico invalida la trazabilidad NIST de las mediciones y expone a la empresa a riesgos legales y operativos inasumibles.

#### 4.1.1 Calibracion completa minima anual segun OSHA e ISO/IEC 17025:2017

El estandar fundamental que rige la calibracion de detectores de gases en el ambito industrial es la norma ISO/IEC 17025:2017, aplicable a laboratorios de ensayo y calibracion. Esta normativa exige que todo equipo de medicion utilizado en aplicaciones criticas para la seguridad mantenga una calibracion completa minima cada doce meses como intervalo maximo entre calibraciones sucesivas. La Occupational Safety and Health Administration (OSHA) refuerza este requisito en sus directrices tecnicas para la proteccion contra atmosferas explosivas y exposiciones a sustancias toxicas, estableciendo que un detector de gases fijo o portatil que no haya sido calibrado dentro del periodo anual no puede considerarse fiable para la toma de decisiones de seguridad.

Una calibracion completa implica la verificacion de la respuesta del sensor de gas industrial frente a patrones de gas certificados con trazabilidad NIST, el ajuste del punto cero y del span cuando la deriva excede los limites de tolerancia del fabricante (tipicamente +/-5% del valor de referencia para gases combustibles y +/-10% para gases toxicos), y la emision de un certificado de calibracion que documente las condiciones ambientales del proceso, los patrones utilizados y los resultados obtenidos. El intervalo de doce meses constituye el umbral maximo legal; en la practica, la mayoría de los programas de mantenimiento de sensores de gases en sectores de riesgo elevado (petroquimico, espacios confinados, tratamiento de aguas residuales) adoptan frecuencias semestrales o trimestrales que reducen la probabilidad de fallo por deriva del sensor.

#### 4.1.2 Bump test diario antes de cada uso segun recomendacion ISEA

La International Safety Equipment Association (ISEA) establece una distincion fundamental entre la calibracion completa y el bump test, procedimiento de verificacion rapida que debe ejecutarse diariamente, antes de cada uso del equipo. El bump test consiste en la exposicion breve del detector de gases a una concentracion de gas superior al umbral de alarma minimo para confirmar que los sensores responden y los alarmas se activan correctamente. Este proceso no ajusta la curva de respuesta del sensor ni sustituye a la calibracion completa, pero constituye la primera linea de defensa contra fallos operativos imprevistos.

Para un transmisor de gases instalado de forma permanente en una zona clasificada, el bump test se ejecuta introduciendo gas de calibración en la cámara sensora o aplicando el patrón de gas directamente sobre el elemento detector. El procedimiento debe completarse en un tiempo máximo de 60 segundos, y la respuesta del sensor debe alcanzar el valor de disparo de alarma dentro del tiempo de respuesta especificado por el fabricante (típicamente entre 10 y 30 segundos dependiendo del tipo de gas). Si el equipo falla el bump test, debe retirarse de servicio inmediatamente y someterse a una calibración completa antes de su reutilización.

## 4.2 Factores que aumentan la frecuencia de calibración

La frecuencia de calibración debe incrementarse respecto al mínimo anual cuando las condiciones operativas o el historial del equipo indican un riesgo elevado de deriva. Los principales factores que exigen una verificación de sensores de gases más periódica se detallan a continuación.

### 4.2.1 Exposición a venenos e inhibidores del sensor (*siliconas, vapores químicos*)

Los sensores electroquímicos y catalíticos son particularmente vulnerables a la acción de compuestos que degradan sus elementos sensibles. Las siliconas presentes en lubricantes, selladores y productos de limpieza pueden depositarse sobre el elemento catalítico de un sensor de gases combustibles, reduciendo su respuesta de forma irreversible si no se detectan a tiempo. Compuestos sulfurados, halogenados y vapores de plomo actúan como inhibidores que desactivan temporal o permanentemente la función catalítica. Cuando un sensor de gas industrial opera en entornos con presencia potencial de estas sustancias, la frecuencia de calibración debe incrementarse a intervalos trimestrales o incluso mensuales, dependiendo de la concentración y frecuencia de exposición.

### 4.2.2 Condiciones extremas: *temperatura, humedad, presión atmosférica*

Las desviaciones prolongadas respecto a las condiciones ambientales de referencia (típicamente 20 grados Celsius y 50% de humedad relativa) aceleran la deriva de los sensores. Temperaturas superiores a 40 grados Celsius incrementan la tasa de evaporación de electrolito en sensores electroquímicos, mientras que ambientes con humedad relativa superior al 90% pueden provocar condensación interna que altera la respuesta eléctrica del elemento detector. Variaciones bruscas de presión atmosférica afectan a la difusión de gas hacia la cámara sensora, especialmente en detectores de gases fijos instalados en procesos a presión. En aplicaciones con condiciones extremas, la calibración de detectores de gases debe realizarse con una periodicidad semestral como mínimo.

### 4.2.3 Envejecimiento natural del sensor y deriva progresiva

Todo sensor de gas industrial experimenta un proceso inevitable de degradación a lo largo de su vida útil. La sensibilidad del elemento detector disminuye progresivamente debido a la evaporación de electrolito, al agotamiento del material catalítico o a la contaminación acumulada de la membrana filtrante. Este fenómeno, conocido como deriva progresiva, se manifiesta como una reducción gradual de la respuesta ante una concentración fija de gas patrón. Cuando el análisis de tendencias del historial de calibración muestra una deriva superior al 2% mensual del valor de span, el intervalo de calibración debe reducirse para mantener la precisión dentro de los límites aceptables hasta la sustitución del sensor.

### 4.2.4 Impactos físicos, vibraciones y contaminantes ambientales

Caidas, golpes o exposición a vibraciones mecánicas intensas pueden alterar la geometría interna del sensor, afectar las conexiones eléctricas o dañar la membrana protectora. En entornos con alta carga de partículas (polvo, aerosoles, neblinas de aceite), el filtro de entrada puede obstruirse parcialmente, reduciendo el flujo de gas hacia el elemento sensible y generando tiempos de respuesta anormalmente prolongados. Tras cualquier incidente mecánico o cuando se observa acumulación visible de contaminantes sobre la carcasa del

equipo, la verificación de sensores de gases debe realizarse de inmediato, independientemente del intervalo programado.

### **4.3 Indicadores de que un sensor necesita calibración urgente**

El cumplimiento estricto de la frecuencia de calibración programada no exime al operador de la responsabilidad de identificar signos de deterioro operativo entre intervalos. La detección temprana de anomalías mediante la observación directa de los comportamientos del equipo es un componente esencial del mantenimiento de sensores de gases preventivo.

#### **4.3.1 Tabla de 10 indicadores críticos: respuesta lenta, lecturas erráticas, deriva de cero, fallo de bump test**

La siguiente tabla resume los diez indicadores que, de observarse en un transmisor de gases o detector portátil, exigen la ejecución inmediata de una calibración completa, independientemente de la fecha de la última calibración registrada:

N	Indicador critico	Manifestacion operativa	Accion requerida
1	Respuesta lenta al gas	Tiempo de respuesta superior al 150% del valor especificado por el fabricante	Calibracion completa y verificacion de tiempo de respuesta con gas patron
2	Lecturas erraticas o inestables	Oscilaciones de la senal superior al +/-10% del fondo de escala sin presencia de gas	Calibracion completa e inspeccion del sistema de muestreo
3	Deriva de cero significativa	Lectura de fondo superior al +/-5% L.E.L. o +/-2 ppm para toxicos despues de purga en aire limpio	Calibracion de punto cero y verificacion de span
4	Fallo de bump test	Incapacidad para alcanzar el punto de disparo de alarma durante el test diario	Calibracion completa obligatoria antes de la reutilizacion
5	Alarmas inconsistentes	Activacion de alarma por debajo del setpoint configurado o ausencia de alarma por encima	Calibracion completa y revision de setpoints de alarma
6	Mensajes de error del sistema	Codigos E02, E03 o equivalentes (fallo de sensor, error de memoria)	Calibracion completa; si persiste, sustitucion del sensor
7	Desviacion respecto a lectura de referencia	Diferencia superior al +/-10% frente a un analizador de referencia en el mismo punto	Calibracion completa con trazabilidad NIST
8	Recuperacion lenta a cero	Tiempo de recuperacion al valor de fondo superior al doble del especificado tras retirar el gas	Calibracion completa y evaluacion de vida util residual
9	Senal de baja sensibilidad	Alerta del sistema por reduccion de la ganancia del sensor por debajo del umbral aceptable	Calibracion completa; planificar sustitucion del sensor
10	Corrosion visible o danos mecanicos	Oxidacion de contactos, grietas en carcasa, membrana deteriorada	Calibracion completa tras reparacion; sustitucion si es necesario

Cualquiera de estos indicadores activados debe registrarse en el historial del equipo y comunicarse al responsable de mantenimiento de sensores de gases para la programacion de la intervencion correctora. La documentacion de estos eventos es requisito indispensable para mantener la trazabilidad NIST del sistema de deteccion y para la demostracion de debida diligencia ante auditorias de seguridad o inspecciones regulatorias en instalaciones que manejen gases toxicos o gases explosivos.

## 5. Equipo necesario para la calibración de sensores de gases

La calibración de sensores de gases constituye un proceso metroológico que exige la disponibilidad de equipamiento específico, consumibles certificados y condiciones ambientales controladas. Tanto la calibración de detectores de gases portátiles como la verificación de un detector de gases fijo o un transmisor de gases instalado en planta requieren el mismo conjunto básico de instrumentos auxiliares. La ausencia de cualquiera de estos elementos introduce incertidumbres que invalidan el resultado final y comprometen la seguridad operativa del sensor de gas industrial.

El presente capítulo detalla el inventario completo de equipo necesario para ejecutar una calibración conforme a los estándares metroológicos aplicables, incluyendo las especificaciones técnicas de cada componente y los criterios de selección para gases de referencia con trazabilidad NIST garantizada.

### 5.1 Equipamiento básico

#### 5.1.1 *Detector de gases a calibrar, tapa de calibración, regulador de caudal (0.5 LPM)*

El elemento central del proceso es, naturalmente, el sensor de gas industrial objeto de calibración. Este puede tratarse de un detector de gases fijo instalado permanentemente en la zona de trabajo, de un detector ATEX portátil destinado a entornos con riesgo de atmósferas explosivas, o de un transmisor de gases de lazo 4-20 mA integrado en un sistema de control distribuido (DCS). Antes de iniciar cualquier operación, el técnico deberá verificar que el equipo se encuentra energizado y estabilizado térmicamente durante un mínimo de 30 minutos, conforme a las recomendaciones del fabricante.

La tapa de calibración, también denominada cubeta o campana de calibración, constituye un accesorio imprescindible que se acopla sobre la celda sensora para crear una cámara estanca donde el gas patrón circula de forma controlada. Su función radica en evitar la dispersión del gas hacia la atmósfera circundante y garantizar que la totalidad del caudal atraviesa la membrana del sensor. Las tapas de calibración se suministran generalmente como accesorio específico de cada modelo de detector; el uso de una tapa inadecuada genera fugas que distorsionan la lectura y producen errores sistemáticos en la calibración de CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, CO y demás gases.

El regulador de caudal (flow regulator) representa el componente que controla el volumen de gas que llega al sensor. La normativa técnica y los procedimientos de la mayoría de fabricantes especifican un caudal nominal de 0.5 LPM (litros por minuto) para la calibración de detectores de gases electroquímicos e infrarrojos. Este valor constituye un parámetro crítico: un caudal inferior no permite la estabilización de la lectura en el tiempo establecido, mientras que un caudal superior puede sobrepresionar la celda sensora y acortar su vida útil. Los reguladores de caudal para calibración disponen generalmente de válvula de aguja ajustable y manómetro integrado para la monitorización continua del flujo.

#### 5.1.2 *Cronómetro, termómetro e higrómetro para condiciones ambientales*

La calibración de sensores de gases es un proceso sensible a las variaciones de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica. Por ello, el técnico debe disponer de un cronómetro con resolución de 1 segundo para controlar los tiempos de estabilización, cuyo valor típico oscila entre 60 y 120 segundos dependiendo del gas y del tipo de sensor. La aplicación de tiempos de estabilización insuficientes constituye una de las causas más frecuentes de error en la calibración de detectores de gases.

Asimismo, resulta obligatorio el empleo de un termómetro e higrómetro calibrados para registrar las condiciones ambientales durante el procedimiento. La mayoría de fabricantes de sensores de gas industriales especifican rangos de operación comprendidos entre 0 C y 40 C de temperatura ambiente, y entre 10 % y 90 % de humedad relativa sin condensación. Estos valores deben documentarse en el registro de calibración junto con la lectura del sensor, ya que condiciones extremas fuera de rango pueden requerir la aplicación de factores de corrección o la postergación del procedimiento.

## 5.2 Materiales consumibles

### 5.2.1 Cilindros de gas patrón trazables NIST con certificado de análisis (COA)

Los gases de referencia, conocidos técnicamente como gas patrón, constituyen el fundamento metroológico de toda calibración. Se trata de mezclas gaseosas con concentración conocida y certificada de analito en una matriz inerte, generalmente aire sintético o nitrógeno. La trazabilidad NIST representa el requisito indispensable: cada botella de calibración debe acompañarse de un certificado de análisis (Certificate of Analysis, COA) expedido por un laboratorio acreditado que acredite la comparación directa o indirecta con los estándares primarios mantenidos por el National Institute of Standards and Technology (NIST) de Estados Unidos.

La concentración del gas patrón debe seleccionarse de acuerdo con el punto de calibración deseado. Para calibración de dos puntos (zero y span), el estándar de calibración span debe situarse entre el 50 % y el 80 % del rango de medición del sensor, nunca por encima del 90 %, con el fin de garantizar una relación lineal óptima entre la señal del sensor y la concentración real de gas. Los cilindros de gases de referencia se suministran habitualmente en capacidades de 34 L, 58 L o 110 L, con válvula CGA (Compressed Gas Association) compatible con el regulador de caudal empleado.

### 5.2.2 Aire cero o nitrógeno para zero calibration

El procedimiento de zero calibration requiere la aplicación de un gas libre de analito sobre el sensor para establecer el punto cero de la curva de respuesta. Para la mayoría de sensores, resulta válido el empleo de aire ambiente limpio de zona no contaminada, siempre que la concentración de gas objetivo sea inferior al umbral de detección del equipo. No obstante, en entornos industriales donde la calidad del aire circundante es incierta, se recomienda utilizar aire cero (zero air) certificado o nitrógeno de alta pureza (N<sub>2</sub>, grado 5.0 o superior, con pureza del 99.999 %). Este gas se aplica durante un tiempo mínimo de 60 segundos hasta la estabilización completa de la lectura en valor cero antes de proceder con el punto span.

### 5.2.3 Tubing de conexión compatible con el gas

El sistema de conexión entre la botella de calibración, el regulador de caudal y la tapa de calibración debe utilizarse con tubing específico para cada tipo de gas. Los materiales incompatibles pueden absorber el analito (fenómeno de adsorción) o liberar compuestos volátiles que interfieren en la medición. Como norma general, para gases reactivos como H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub> y HCN se emplea tubing de acero inoxidable 316L o PTFE (politetrafluoroetileno) de diámetro exterior 6 mm. Para gases no reactivos como O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> resulta aceptable tubing de poliuretano o PVC de calidad industrial. La longitud total del tubing entre el regulador y la tapa de calibración no debe exceder los 2 metros para minimizar el tiempo de purga y estabilización.

La tabla siguiente resume el conjunto completo de equipamiento básico y materiales consumibles requeridos para la calibración de sensores de gases industriales:

Item	Descripcion	Especificacion tecnica	Funcion en el proceso
1	Sensor de gas industrial / detector a calibrar	Fijo, portatil o detector ATEX	Equipo objeto de calibracion
2	Tapa de calibracion	Compatible con modelo de sensor	Camara de aplicacion de gas patron
3	Regulador de caudal	0.5 LPM, valvula de aguja ajustable	Control del flujo de gas de referencia
4	Cronometro	Resolucion 1 segundo	Control de tiempos de estabilizacion
5	Termometro / Higrometro	Rango 0-40 C, 10-90 % HR	Registro de condiciones ambientales
6	Cilindro de gas patron	Trazabilidad NIST, con COA	Aplicacion del punto span calibrado
7	Aire cero o nitrogeno	Pureza 99.999 % (grado 5.0)	Establecimiento del punto cero
8	Tubing de conexion	PTFE, acero inoxidable 316L o poliuretano	Conduccion del gas al sensor

## 5.3 Tabla de gases soportados para calibracion

### 5.3.1 Listado completo de 24 gases con simbolo quimico y rango de calibracion

Los sistemas de calibracion de sensores de gases industriales soportan un amplio espectro de analitos que abarca desde gases combustibles hasta toxicos y asfixiantes. La seleccion del gas patron correcto depende directamente del tipo de sensor instalado en el detector de gases fijo o portatil. La tabla siguiente presenta el listado completo de 24 gases con su denominacion quimica, simbolo y el rango tipico de calibracion aplicable en instrumentacion industrial:

N	Gas	Simbolo químico	Rango de calibracion típico
1	Acetileno	C2H2	0-50 ppm
2	Oxigeno	O2	0 %-21 % vol
3	Etileno	C2H4	0-80 ppm
4	Cloro	Cl2	0-10 ppm
5	Monoxido de carbono	CO	0-5000 ppm
6	Dioxido de carbono	CO2	0-100 % vol
7	Oxido de etileno	ETO	0-10 ppm
8	Metano	CH4	0-50 % LEL
9	Hidrogeno	H2	0-5000 ppm
10	Hidrogeno sulfurado	H2S	0-100 ppm
11	Formaldehido	CH2O	0-10 ppm
12	Hidrogeno cloruro	HCl	0-10 ppm
13	Hidrogeno cianuro	HCN	0-20 ppm
14	Nitrogeno	N2	0-100 % vol
15	Amoniaco	NH3	0-50 ppm
16	Oxido nitroso	N2O	0-200 ppm
17	Dioxido de nitrogeno	NO2	0-200 ppm
18	Fosfina	PH3	0-10 ppm
19	Dioxido de azufre	SO2	0-10 ppm
20	Isobutileno	C4H8	0-50 ppm
21	Argon	Ar	0-100 % vol
22	Helio	He	0-100 % vol
23	Oxido nitrico	NO	0-1000 ppm
24	Etanol	C2H6O	0-500 ppm

La cobertura de estos 24 gases abarca las necesidades mayoritarias de calibracion en sectores industriales como petroquímica, tratamiento de aguas, alimentacion, farmaceutica y mineria. La calibracion de CO2 resulta fundamental en aplicaciones de control de procesos y seguridad en bodegas, mientras que la calibracion de NH3, la calibracion de H2S, la calibracion de CH4, la calibracion de O2 y la calibracion de CO constituyen el protocolo estandar en instalaciones de tratamiento de aguas residuales y espacios confinados. Los gases con limites de exposicion profesional reducidos, como Cl2, HCN, PH3 y SO2 con rangos de 0-10 ppm o 0-20 ppm, exigen una precision excepcional en la preparacion de las mezclas patron y una verificacion reforzada de la trazabilidad NIST del certificado de analisis.

La correcta seleccion del equipo descrito en este capitulo, combinada con gases de referencia certificados y procedimientos de aplicacion rigurosos, constituye la base material sobre la que se edifica toda calibracion de sensores de gases con validez metrologica y conformidad normativa. Sin estos elementos, ni el tecnico mas experimentado ni el procedimiento mas detallado pueden garantizar la fiabilidad de un detector de gases en condiciones reales de operacion industrial.

## 6. Condiciones ambientales para la calibración

La calibración de sensores de gases exige un entorno controlado donde las variables ambientales no introduzcan incertidumbre adicional en el resultado. Un sensor de gas industrial responde a variaciones térmicas y de humedad incluso antes de recibir el gas patrón, por lo que el procedimiento de calibración de detectores de gases debe ejecutarse siempre dentro de rangos ambientales específicos. El incumplimiento de estas condiciones invalida la trazabilidad NIST del proceso y compromete la validez del certificado emitido. Las siguientes secciones detallan los parámetros requeridos y el protocolo de documentación asociado.

### 6.1 Parámetros ambientales requeridos

Antes de iniciar cualquier sesión de cero calibración o span calibración, el técnico debe verificar que el área de trabajo cumpla con los tres parámetros ambientales establecidos. Estos valores se han definido a partir de las especificaciones operativas típicas de los detectores electroquímicos, catalíticos e infrarrojos empleados en entornos industriales.

#### 6.1.1 Temperatura: 20 C +/- 5 C (68 F +/- 9 F)

La temperatura ambiente constituye el factor de mayor influencia en la estabilidad de la señal de un detector de gases fijo. La recomendación operativa establece un rango de **20 C +/- 5 C**, equivalente a 68 F +/- 9 F. Dentro de este intervalo, los sensores electroquímicos mantienen una deriva térmica mínima, generalmente inferior al 0,5 % del valor de lectura por grado Celsius de desviación. Cuando la temperatura desciende por debajo de 15 C, la movilidad iónica del electrolito se reduce y los tiempos de respuesta T90 pueden alargarse hasta un 15 %. Por encima de 25 C, el riesgo de evaporación del electrolito y de falsas lecturas por oxidación parasita aumenta significativamente. Durante el mantenimiento de sensores de gases, el termómetro debe situarse a menos de 1 metro del punto de calibración, a la misma altura que el sensor, y el valor leído se registrará en la hoja de trabajo antes de conectar el equipo de calibración.

#### 6.1.2 Humedad relativa: 40% a 60%

La humedad relativa (HR) afecta directamente a la estabilidad de la línea base y a la adsorción del gas patrón sobre las membranas del sensor de gas industrial. El rango óptimo se sitúa entre el **40 % y el 60 %** de humedad relativa. Por debajo del 40 %, las membranas poliméricas pueden resecaarse y modificar su permeabilidad, generando lecturas de span inferiores a las esperadas. Por encima del 60 %, el vapor de agua condensado sobre la cara del sensor actúa como barrera difusional, reduciendo la amplitud de la señal y prolongando el tiempo de recuperación tras la calibración. En instalaciones con climatización inestable, se recomienda emplear un higrómetro digital con certificado de calibración vigente y registrar el valor de HR simultáneamente a la temperatura ambiente.

#### 6.1.3 Ventilación adecuada sin corrientes directas ni gases interferentes

El espacio de trabajo debe disponer de ventilación suficiente para evacuar los gases de calibración una vez finalizada la prueba, pero sin corrientes de aire directas sobre el detector de gases fijo. Una velocidad del aire superior a 0,5 m/s sobre la cara del sensor puede diluir el gas patrón antes de que alcance la membrana activa, produciendo errores de span sistemáticamente bajos. Asimismo, el entorno debe estar libre de vapores orgánicos volátiles (VOC), solventes, siliconas o gases combustibles residuales que actúen como interferentes. La presencia de estos compuestos compromete tanto el zero calibration como el span calibration, ya que desplazan la línea base o suman señal al gas patrón aplicado. La inspección visual y olfativa del área constituye el primer filtro antes del montaje del equipo.

Parametro ambiental	Rango aceptable	Tolerancia maxima permitida	Instrumento de medicion
Temperatura ambiente	20 C	+/- 5 C (15 C a 25 C)	Termometro digital certificado
Humedad relativa	50 %	+/- 10 % (40 % a 60 %)	Higrometro digital calibrado
Velocidad del aire	< 0,5 m/s	Sin corrientes directas	Anemometro de copa o termoanemometro
Gases interferentes	Concentracion nula	0 ppm detectables	Inspeccion sensorial + detector portatil de referencia

## 6.2 Documentacion y control de desviaciones

### 6.2.1 Registro de condiciones ambientales al inicio y fin de cada calibracion

Cada acta de calibración de sensores de gases debe incluir, como mínimo, la temperatura y la humedad relativa registradas en el momento de inicio de la prueba de zero calibration y en el momento de finalización del span calibration. Esta doble lectura permite detectar variaciones ambientales durante la sesión que justifiquen una repetición del procedimiento. El registro se efectuará en el formato estandarizado de la empresa, con valores numéricos exactos (sin redondeos), fecha, hora e identificación del instrumento de medición empleado, incluyendo su número de serie y fecha de próxima calibración para garantizar la trazabilidad NIST del entorno.

### 6.2.2 Procedimiento ante condiciones fuera de rango

Si alguno de los parámetros ambientales se sitúa fuera de los rangos especificados en la tabla anterior, el técnico debe interrumpir el procedimiento de calibración de detectores de gases antes de aplicar el gas de span. La secuencia de actuación es la siguiente: primero, documentar en el registro los valores reales leídos junto con la desviación respecto al rango aceptable; segundo, evaluar si la desviación es corregible en el momento (por ejemplo, ajustando la climatización o reubicando el equipo); tercero, si la condición no puede corregirse, posponer la calibración y emitir un informe de incidencia que asocie la desviación ambiental a la suspensión del trabajo. La calibración ejecutada fuera de rango no es válida para certificación ni para el mantenimiento de sensores de gases programado, salvo que el laboratorio disponga de un procedimiento documentado de corrección por factores ambientales aprobado por el responsable de calidad y basado en datos de caracterización específica del modelo de sensor.

## 7. Procedimiento de calibración paso a paso de sensores de gases

El procedimiento de calibración de sensores de gases constituye el núcleo operativo sobre el que descansa toda la fiabilidad metroológica de un sistema de detección industrial. Un protocolo de calibración de sensores de gases ejecutado con rigor metodológico garantiza que el detector de gases fijo o portátil proporcione lecturas trazables a estándares internacionales, reduce la incertidumbre de medición a valores aceptables según IEC 60079-29-1 e ISO 10156, y constituye el documento habilitante para la demostración de debida diligencia ante una auditoría de prevención de riesgos laborales (PRL). En este capítulo se describe secuencialmente cada fase del proceso: verificaciones previas, ajuste de cero (zero calibration), ajuste de span (span calibration), calibración multigas y verificación post-calibración. Cada apartado incluye valores numéricos concretos — caudales, tiempos, tolerancias y umbrales de aceptación — que el técnico debe aplicar sin excepción en campo.

### 7.1 Verificaciones pre-calibración

Antes de iniciar cualquier proceso de calibración de detectores de gases, el técnico debe ejecutar un protocolo de verificación sistemática que descarte condiciones anómalas en el equipo, en el entorno o en los materiales de referencia. Omitir esta fase es una de las causas principales de errores de calibración posteriores y de falsos positivos/negativos durante la operación normal del sensor de gas industrial.

#### 7.1.1 Checklist de 12 puntos: estado físico, batería, firmware, tubing, tapa, conexiones, vigencia de gas patrón

La siguiente tabla resume las 12 verificaciones obligatorias que deben completarse antes de conectar la botella de calibración al detector. Cada ítem se califica con estado 'Conforme' o 'No conforme'. La existencia de un solo ítem no conforme requiere resolución previa al inicio de la calibración.

N	Item de verificación	Criterio de aceptación	Estado
1	Estado físico del detector	Carcasa sin fisuras, display legible, teclas operativas	Conforme / No conforme
2	Nivel de batería	Carga superior al 50% o conectado a fuente externa estable	Conforme / No conforme
3	Version de firmware	Firmware actualizado según boletín del fabricante (< 12 meses)	Conforme / No conforme
4	Tubing de calibración	Longitud máxima 1.5 m, sin obstrucciones ni pinchazos	Conforme / No conforme
5	Tapa sensor / membrana	Fijación correcta, sin residuos ni corrosión visible	Conforme / No conforme
6	Conexiones eléctricas	Borne apretado, cable sin deterioro, tierra funcional	Conforme / No conforme
7	Vigencia de gas patrón	Fecha de caducidad: > 6 meses desde la fecha de calibración	Conforme / No conforme
8	Concentración del gas patrón	20-80% del rango de medición del sensor calibrar	Conforme / No conforme
9	Regulador de caudal	Calibrado, rango 0.2-1.0 LPM, con manómetro funcional	Conforme / No conforme
10	Condiciones ambientales	Temperatura 15-30 C, humedad 20-80% HR, sin gases interferentes	Conforme / No conforme
11	Sonda de calibración / adaptador	Modelo compatible, acople hermético al detector	Conforme / No conforme
12	Hoja de registro disponible	Documento en blanco con campos: pre-cal, COA, post-cal, firma	Conforme / No conforme

El técnico debe recorrer secuencialmente los 12 puntos sin omitir ninguno. Los ítems 1 a 6 verifican la integridad física y funcional del detector de gases fijo o portátil; los ítems 7 a 9 confirman que los gases de referencia y el equipo auxiliar cumplen las especificaciones metrologías; los ítems 10 a 12 aseguran trazabilidad documental y condiciones ambientales dentro de los límites operativos del sensor. En el caso de un detector ATEX, el ítem 1 debe extenderse a la verificación de la integridad de las juntas de estanqueidad y de la marca de certificación Ex visible en la placa de características.

### 7.1.2 Verificación del certificado de análisis (COA) y trazabilidad NIST del gas patrón

El certificado de análisis (COA) es el documento primario que acredita la concentración real del gas contenido en la botella de calibración. Este valor nunca coincide exactamente con la nominal: una botella etiquetada como '50 ppm H<sub>2</sub>S' puede contener 49.2 ppm o 51.5 ppm según el lote de fabricación. El técnico debe contrastar los siguientes datos del COA antes de iniciar la calibración de sensores electroquímicos o la calibración de sensores NDIR:

1. Número de lote de la botella: debe coincidir carácter por carácter con el grabado físico en el cuello del cilindro.
2. Concentración certificada con incertidumbre expandida: típicamente declarada como 'valor ± incertidumbre' (ejemplo: 50.0 ± 1.0 ppm, k=2).
3. Fecha de caducidad: el gas patrón mantiene su estabilidad química hasta esta fecha siempre que se haya almacenado entre 10 C y 25 C y sin exposición a radiación solar directa.
4. Trazabilidad NIST: el COA debe declarar explícitamente que la medición de concentración es trazable al National Institute of Standards and Technology (NIST) de Estados Unidos, o equivalentemente al NPL (Reino Unido) o al PTB (Alemania). La ausencia de esta declaración invalida el uso del gas para calibraciones formales en entornos regulados.

El valor certificado del COA, no el valor nominal de la etiqueta, es el dato que el técnico ingresará en el campo 'concentración de gas' durante el span calibration. Utilizar el valor nominal en lugar del certificado introduce un error sistemático proporcional a la desviación del lote, que puede alcanzar el 2-3% en gases de sensibilidad intermedia.

### 7.1.3 Registro de condiciones ambientales y serie del detector

Las condiciones ambientales incident directamente sobre la respuesta del sensor, especialmente en la calibracion de detectores de gases toxicos donde un cambio de 10 C puede desplazar la lectura en un 2-5% dependiendo del principio de deteccion. Al inicio de cada sesion, el tecnico registrara:

- Temperatura ambiente (C): medida con termometro calibrado, resolucion 0.1 C.
- Humedad relativa (% HR): medida con higrometro, rango 20-80% HR aceptable.
- Presion atmosferica (hPa): solo obligatoria para sensores de O2 electrochemical compensados en presion.
- Numero de serie del detector de gases fijo o transmisor de gases: identificacion unica para vincular la calibracion al historial del equipo.
- Numero de serie del gas patron y concentracion COA: para cadena de trazabilidad completa.

Este registro se incorpora a la hoja de calibracion como evidencia documental. Si las condiciones ambientales exceden los rangos operativos declarados por el fabricante (tipicamente 0-40 C, 15-90% HR), la calibracion debe posponerse o trasladarse a un entorno controlado.

## 7.2 Zero calibration (ajuste de cero)

El zero calibration establece el punto de referencia cero del sensor, compensando los desplazamientos de linea base producidos por el envejecimiento del elemento sensible, la exposicion acumulada a contaminantes o las variaciones de temperatura. Un cero incorrecto propagara un error de offset constante a todo el rango de medicion, invalidando posteriormente el span calibration.

### 7.2.1 Encender detector y estabilizar 2 minutos en aire fresco

El procedimiento de calibracion de sensores de gases comienza con el encendido del equipo en un entorno libre de gas objetivo. El tiempo de estabilizacion inicial es de **2 minutos** como minimo, durante los cuales el sensor electroquimico o NDIR completa sus ciclos internos de autoverificacion, el circuito de acondicionamiento de senal alcanza la temperatura de regimen y el firmware inicializa los parametros de correccion de temperatura. Durante este periodo, el display del detector ATEX o transmisor de gases mostrara valores fluctuantes que no deben interpretarse como medicion estable. **No iniciar el ajuste de cero antes de que el indicador de estabilidad (tipicamente un icono fijo o mensaje 'Ready') aparezca en pantalla.**

### 7.2.2 Opcion A: aire fresco (area libre de gas objetivo, 2 minutos)

La opcion preferente para zero calibration utiliza aire fresco ambiental, definido como atmosfera en la que la concentracion del gas objetivo es inferior al 1% del fondo de escala del sensor. Para ejecutar esta opcion:

1. Verificar que el area de trabajo esta ventilada y alejada de fuentes de emision (tuberias, valvulas, procesos).
2. Confirmar con un detector de referencia calibrado que la concentracion de gas objetivo en la zona es inferior al umbral de deteccion.
3. Mantener el equipo en aire fresco durante 2 minutos completos antes de aceptar el punto cero.

Esta opcion es aplicable a la calibracion de detectores de gases toxicos (H2S, CO, SO2, NO2, Cl2) y a la calibracion de detectores de gases explosivos cuando el sensor es de tipo pellistor catalitico. Para sensibles a O2, el aire fresco al 20.9% de oxigeno constituye simultaneamente el punto de span, por lo que el procedimiento difiere ligeramente (vease apartado 7.4.1).

### 7.2.3 Opcion B: nitrogeno (caudal 0.5 LPM, flujo 2 minutos)

Cuando el entorno no permite garantizar aire fresco libre de gas objetivo — situacion frecuente en zonas de proceso, interiores de cuadros electricos o plantas petroquimicas — se emplea nitrogeno de grado 5.0 (pureza 99.999%) como gas de referencia para cero. El procedimiento exige:

1. Conectar el regulador de caudal a la botella de nitrogeno.
2. Ajustar el caudal a 0.5 LPM (litros por minuto) mediante el rotametro o valvula reguladora.
3. Acoplar la sonda de calibracion al puerto de entrada del detector.
4. Abrir el paso de gas y mantener el flujo durante 2 minutos.
5. Verificar en el display que la lectura se estabiliza en 0 ppm (o 0% LEL, segun el tipo de sensor) con variacion inferior a 1 unidad de cuenta en 15 segundos.

El nitrogeno elimina toda molecula de gas reactiva del entorno del sensor, proporcionando una condicion de cero absoluto. Este metodo es especialmente recomendado para la calibracion de sensores NDIR, cuyo principio de deteccion por absorcion infrarroja es sensible a interferencias de vapor de agua y CO<sub>2</sub> ambiental. El caudal de 0.5 LPM ha sido establecido como estandar industrial porque genera una velocidad de flujo laminar sobre la superficie del sensor sin producir sobrepresion ni efectos de estrangulamiento en el tubo capilar.

### 7.2.4 Guardar punto cero y verificar lectura 0 ppm

Una vez confirmada la estabilidad, el tecnico ejecuta la secuencia de guardado en el menu de calibracion del equipo:

1. Acceder al menu "Zero Calibration" o "Ajuste de Cero".
2. Seleccionar "Aceptar" o "Guardar" segun el modelo del detector.
3. Verificar que el display muestra 0 ppm para sensores de toxicos, 0% LEL para sensores de combustibles, o 20.9% Vol para O<sub>2</sub> (en cuyo caso el 'cero' es en realidad el aire fresco, no 0% Vol).
4. Registrar en la hoja de calibracion: fecha, hora, metodo utilizado (aire fresco o N<sub>2</sub>), caudal aplicado (si procede), y lectura final.

Si la lectura no se estabiliza en cero tras los 2 minutos de exposicion, esto indica una anomalia en el sensor (posible envenenamiento, desgaste del electrolito o deterioro de la membrana) que debe resolverse antes de continuar con el span calibration. Bajo ninguna circunstancia debe procederse al ajuste de span con un punto cero inestable.

## 7.3 Span calibration (ajuste de span)

El span calibration establece la sensibilidad del sensor a una concentracion conocida de gas patron, completando la linea de respuesta entre el cero y el punto de span. Este paso es el que finalmente determina la precision del detector de gases fijo durante su operacion en campo.

### 7.3.1 Confirmar zero calibration exitosa

Antes de iniciar el span calibration, el tecnico debe verificar en pantalla que el zero calibration guardado mantiene una lectura estable en cero (o en 20.9% Vol para O<sub>2</sub>) durante al menos 30 segundos en aire fresco. Un desplazamiento posterior al guardado indica que el sensor no ha alcanzado el equilibrio termico completo o que existe una fuga en el sistema de tubing que introduce gas residual del span anterior. Solo cuando la lectura de cero sea estable durante 30 segundos se procedera a conectar la botella de calibracion.

### 7.3.2 Conectar botella de calibracion: gas patron al 20-80% del rango

La seleccion de la concentracion del gas patron es critica para la calibracion de sensores electroquimicos y detectores de gases explosivos. La normativa IEC 60079-29-1 y los procedimientos de los principales fabricantes establecen que la calibracion debe realizarse con una concentracion comprendida entre el 20% y el 80% del rango de medicion completo (full scale) del sensor. Razones tecnicas de esta eleccion:

- Una concentracion inferior al 20% del rango genera una relacion senal/ruido deficiente, amplificando la incertidumbre relativa de la calibracion.
- Una concentracion superior al 80% del rango puede saturar temporalmente el sensor electroquimico, requiriendo tiempos de recuperacion prolongados y arriesgando la linealidad de la respuesta.
- El punto del 50% del rango se considera optimo porque equilibra precision en la zona de trabajo frecuente con capacidad de deteccion de desviaciones a ambos lados.

Por ejemplo, para un sensor de H<sub>2</sub>S de rango 0-100 ppm, el gas patron ideal sera de 40-50 ppm. Para un sensor de CO de rango 0-500 ppm, el gas patron se seleccionara entre 100 y 200 ppm segun disponibilidad del almacen.

### 7.3.3 Ajustar caudal a 0.5 LPM

El caudal de gas patron sobre el sensor afecta directamente a la velocidad de respuesta y a la estabilidad de la lectura. Un caudal insuficiente genera tiempos de respuesta largos y riesgo de no alcanzar la concentracion nominal en la camara del sensor; un caudal excesivo puede producir enfriamiento por expansion del gas, efecto Venturi en la camara o dilucion accidental con aire ambiente por succion en las juntas.

El caudal estandar para calibracion de sensores de gases es 0.5 LPM. Este valor se ajusta en el rotometro o regulador de la botella de calibracion verificando que la esfera flotante se alinea con la marca de 0.5 LPM. Algunos reguladores de alta precision incluyen una valvula de aguja con escala graduada; en estos casos, girar la valvula hasta la posicion calibrada previamente con un caudalimetro de referencia.

### 7.3.4 Exponer sensor a gas patron por 1 minuto hasta estabilizacion

Con el caudal ajustado a 0.5 LPM, se abre la valvula de la botella de calibracion y se dirige el flujo hacia el puerto de calibracion del detector de gases fijo o portatil. El tiempo de exposicion minimo es de 1 minuto, contados desde el momento en que el display comienza a mostrar una variacion significativa respecto al cero.

Durante este minuto, la lectura ascendera progresivamente hasta aproximarse a la concentracion del gas patron. La velocidad de subida depende del tipo de sensor:

- Sensores electroquimicos (H<sub>2</sub>S, CO, SO<sub>2</sub>): tiempo de respuesta t<sub>90</sub> de 15-45 segundos tipicos; estabilizacion completa en 30-60 segundos.
- Sensores pellistor (LEL): respuesta rapida (t<sub>90</sub> 10-20 segundos) pero posible deriva inicial por efecto de la temperatura de combustion sobre el puente de Wheatstone.
- Sensores NDIR (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, hidrocarburos): respuesta intermedia (t<sub>90</sub> 20-40 segundos), con alta estabilidad una vez alcanzado el equilibrio optico.

El tecnico debe observar el display continuamente y no interrumpir el flujo de gas hasta que el indicador de estabilidad aparezca.

### **7.3.5 Verificar estabilidad (variacion menor al 1% en 15 segundos)**

El criterio de estabilidad para aceptar el punto span es estricto: la lectura del sensor debe mantenerse dentro de una banda de variacion inferior al 1% de la concentracion del gas patron durante 15 segundos consecutivos. Expresado en terminos practicos:

- Para un gas patron de 50.0 ppm, la variacion maxima admisible es de  $\pm 0.5$  ppm en 15 segundos.
- Para un gas patron de 100.0 ppm, la variacion maxima admisible es de  $\pm 1.0$  ppm en 15 segundos.
- Para un gas patron de 50% LEL, la variacion maxima admisible es de  $\pm 0.5\%$  LEL en 15 segundos.

Si la lectura oscila mas alla de este umbral tras 2 minutos de exposicion, el tecnico debe: 1. Verificar que el caudal sigue siendo 0.5 LPM. 2. Comprobar que no existen fugas en las conexiones de tubing. 3. Confirmar que la botella de gas patron no ha caducado. 4. Si tras estas verificaciones la inestabilidad persiste, considerar el sensor como candidato a sustitucion.

### **7.3.6 Guardar punto span e ingresar concentracion del COA**

Una vez alcanzada la estabilidad, el tecnico introduce manualmente en el equipo la concentracion certificada del certificado de analisis (COA), no el valor nominal de la etiqueta. La secuencia es:

1. Acceder al menu "Span Calibration" o "Ajuste de Span".
2. Cuando el equipo solicite "Valor de gas" o "Gas concentration", introducir el valor del COA con la resolucion indicada (ejemplo: 49.2 ppm, no 50 ppm).
3. Confirmar con "Aceptar" o "Enter".
4. El equipo guardara el nuevo factor de sensibilidad (span factor) y recalculara la pendiente de la curva de respuesta.

La introduccion del valor COA es el paso que garantiza la trazabilidad NIST de toda la cadena de medicion posterior. Omitir este paso y aceptar el valor nominal es una no conformidad en sistemas con certificacion ISO 9001 o en entornos sujetos a inspeccion regulatoria.

### **7.3.7 Registrar pre-cal, concentracion COA y post-cal**

Inmediatamente despues del span calibration, el tecnico completa la primera parte del registro documental:

Campo	Valor registrado	Ejemplo
Fecha y hora de calibracion	DD/MM/AAAA HH:MM	15/03/2026 10:30
Serie del detector	Numero de serie completo	SN-78945-LEL
Serie del gas patron	Numero de lote del COA	Lote-NT2026-4421
Concentracion COA (ppm o %LEL)	Valor certificado $\pm$ incertidumbre	49.2 $\pm$ 1.0 ppm
Lectura pre-cal (en gas patron)	Valor mostrado antes de ajustar span	46.8 ppm
Lectura post-cal (en gas patron)	Valor mostrado despues de ajustar span	49.0 ppm
Desviacion post-cal (%)	(Lectura post-cal / COA - 1) x 100	-0.41%
Resultado (Aceptar/Rechazar)	Dentro de $\pm$ 4%: Aceptar	Aceptar
Nombre del tecnico	Firma o identificacion	J. Martinez

Este registro constituye la evidencia de que la calibracion de detectores de gases se ha ejecutado conforme al procedimiento y que el equipo opera dentro de tolerancias aceptables.

### 7.3.8 Volver a aire fresco y verificar retorno a cero

Tras guardar el span, el tecnico desconecta la botella de calibracion y expone el sensor a aire fresco (o nitrogeno durante 30 segundos si el entorno lo requiere). El tiempo de recuperacion hasta el retorno a cero debe ser:

- Menor de 60 segundos para sensores electroquimicos de toxicos ( $t_{90}$  de recuperacion).
- Menor de 90 segundos para sensores pellistor tras exposicion a % LEL elevados.
- Menor de 120 segundos para sensores NDIR de hidrocarburos pesados.

Si el retorno a cero excede estos tiempos, o si la lectura no alcanza el cero absoluto (permanece  $>2\%$  del fondo de escala), esto indica una recuperacion anomala del sensor que debe investigarse. Las causas tipicas incluyen envenenamiento del elemento catalitico, electrolito degradado en sensores electroquimicos, o contaminacion de la ventana optica en sensores NDIR.

## 7.4 Calibracion multigas

Los detectores multigas portatiles y los transmisores de gases fijos multicanal requieren una secuencia especifica de calibracion que evita interferencias cruzadas entre sensores y optimiza el tiempo total del procedimiento.

### 7.4.1 Repetir zero y span para cada sensor en orden: O<sub>2</sub>, LEL, toxicos

El orden de calibracion por canales es obligatorio y responde a criterios tecnicos de interferencia y estabilidad:

1. O<sub>2</sub> (oxigeno): se calibra primero porque su punto de referencia es el aire fresco (20.9% Vol), que no introduce contaminantes en el sistema. Un sensor de O<sub>2</sub> afectado por gases reductores puede requerir un tiempo de recuperacion antes de la calibracion.
2. LEL (explosivos): se calibra despues de O<sub>2</sub> porque los sensores pellistor cataliticos consumen oxigeno durante la combustion del gas patron. Calibrar LEL antes que O<sub>2</sub> podria generar una lectura de oxigeno transitoriamente baja que afectaria al ajuste de O<sub>2</sub>.
3. Toxicos (H<sub>2</sub>S, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, etc.): se calibran en ultimo lugar porque algunos sensores electroquimicos de toxicos presentan tiempos de estabilizacion mas largos y pueden mostrar sensibilidad cruzada a vapores organicos presentes en ciertos gases LEL.

Para cada canal, el tecnico repite completo el zero calibration (apartado 7.2) y el span calibration (apartado 7.3) con los gases de referencia especificos de cada sensor.

### 7.4.2 Uso de mezcla multigas para calibracion simultanea

Cuando el detector multigas dispone de puertos de calibracion independientes para cada sensor, es posible utilizar una mezcla multigas que contenga las concentraciones apropiadas de cada componente en una sola botella. Por ejemplo, una mezcla tipica para calibracion simultanea de 4 gases contiene:

- CH<sub>4</sub> (metano): 50% LEL (equivalente a 2.5% Vol en aire)
- H<sub>2</sub>S (acido sulfhidrico): 25 ppm
- CO (monoxido de carbono): 100 ppm
- O<sub>2</sub> (oxigeno): No se incluye en mezcla; se calibra con aire fresco por separado

El uso de mezcla multigas reduce el tiempo total de calibracion aproximadamente un 40%, pero exige que el certificado de analisis del gas multicomponente especifique la concentracion certificada de cada gas con su incertidumbre individual. La trazabilidad NIST debe declararse para cada componente por separado. **Nota de seguridad: las mezclas multigas con componentes LEL toxicos deben manejarse en areas ventiladas con extraccion forzada, siguiendo el reglamento de almacenamiento de productos quimicos del centro de trabajo.**

### 7.4.3 Purga de 30 segundos entre gases individuales

Cuando la calibracion se realiza con gases individuales (no mezcla), entre cada cambio de botella de calibracion se ejecuta una purga de 30 segundos con aire fresco o nitrogeno. Este tiempo de purga tiene tres funciones:

1. Eliminar el gas anterior de la camara de medicion y del tubing.
2. Permitir que el sensor recupere su linea base antes de la exposicion al siguiente gas.
3. Evitar reacciones cruzadas en sensores electroquimicos sensibles a multiples gases (por ejemplo, sensores de H<sub>2</sub>S que muestran sensibilidad residual a vapores organicos).

La purga de 30 segundos es aplicable a sensores con tiempos de respuesta t<sub>90</sub> inferiores a 45 segundos. Para sensores de respuesta mas lenta (algunos NDIR de CO<sub>2</sub> o NH<sub>3</sub>), el tiempo de purga debe extenderse a 60 segundos segun recomendacion del fabricante.

## 7.5 Verificacion post-calibracion

La verificacion post-calibracion es la prueba de aceptacion final que confirma que el sensor opera dentro de tolerancias despues del ajuste completo. Sin esta verificacion, la calibracion carece de validez documental.

### 7.5.1 Exponer nuevamente a gas patron y verificar +/- 4%

Una vez completados el zero y span calibration, y tras haber verificado el retorno a cero, el tecnico expone nuevamente el sensor al mismo gas patron utilizado en el span (misma botella, mismo caudal de 0.5 LPM, mismo tiempo de 1 minuto). La lectura obtenida en esta exposicion de verificacion debe coincidir con la concentracion del COA dentro de una tolerancia de  $\pm 4\%$ .

Expresado en valores absolutos para un gas patron de 50.0 ppm COA: - Limite inferior aceptable:  $50.0 \times 0.96 = 48.0$  ppm - Limite superior aceptable:  $50.0 \times 1.04 = 52.0$  ppm

Si la lectura de verificacion cae dentro de esta banda, la calibracion se considera exitosa y el sensor queda habilitado para su puesta en servicio o continuidad de operacion. El tecnico registra este valor como 'lectura post-cal' en la hoja de calibracion y firma el documento.

### 7.5.2 Protocolo de repeticion: maximo 2 intentos, si falla retirar de servicio

Si la verificación post-calibración muestra una desviación superior al  $\pm 4\%$ , el protocolo de repetición establece lo siguiente:

Intento	Acción	Criterio de aceptación
1er intento (fallido)	Repetir zero calibration completo y span calibration con gas patron fresco	Lectura post-cal dentro de $\pm 4\%$ del COA
2o intento	Repetir zero calibration, span calibration y verificar estado del sensor (membrana, electrolito, conexiones)	Lectura post-cal dentro de $\pm 4\%$ del COA
3er estado (tras 2 fallos)	Retirar el sensor de servicio	Sustitución del sensor o envío a servicio técnico del fabricante

El límite de máximo 2 intentos de calibración antes de retirar el sensor de servicio evita la iteración infinita sobre un componente que ha alcanzado el final de su vida útil o que presenta una avería no recuperable. Esta regla es aplicable tanto a la calibración de detectores de gases tóxicos como a la calibración de detectores de gases explosivos, y debe constar explícitamente en el procedimiento escrito del departamento de mantenimiento. Un sensor que ha fallado dos calibraciones consecutivas constituye un riesgo operativo inaceptable: no solo pierde precisión, sino que puede generar lecturas falsamente seguras que expongan al personal a concentraciones peligrosas sin alarma.

El técnico documenta cada intento fallido con la lectura obtenida, la desviación porcentual y las acciones correctivas aplicadas. Esta documentación es esencial para el análisis de tendencias de mantenimiento predictivo y para la justificación de la solicitud de reposición del sensor de gas industrial afectado.

## 8. Diferencia entre Bump Test y Calibracion completa

La distincion entre bump test y calibracion completa constituye uno de los conceptos operativos mas relevantes dentro del programa de mantenimiento de sensores de gases. Aunque ambos procedimientos emplean gas patron y se ejecutan sobre el mismo detector de gases fijo o portatil, su proposito, metodologia e implicaciones tecnicas son fundamentalmente distintos. Comprender la diferencia entre bump test y calibracion es imprescindible para que responsables de PRL, tecnicos de mantenimiento e ingenieros de planta disenen un programa de verificacion de sensores de gases que combine eficiencia operativa con seguridad real.

### 8.1 Que es el bump test

#### 8.1.1 Definicion: verificacion funcional con blast de gas patron (30-60 segundos)

El bump test es un procedimiento de verificacion funcional mediante el cual se expone el sensor de gas industrial a una concentracion conocida de gas patron durante un intervalo breve de 30 a 60 segundos. Este blast de gas tiene como unica finalidad confirmar que el detector responde de manera detectable ante la presencia del analito y que el sistema de alarmas se activa conforme a los umbrales programados. El bump test no realiza ajustes numericos sobre la curva de respuesta del sensor: se trata exclusivamente de una prueba de tipo paso/fallo que verifica la operatividad mecanica y electronica del equipo.

El procedimiento requiere conectar una botella de calibracion con gas patron al detector mediante tubing compatible, aplicar un caudal de 0.5 LPM durante el tiempo especificado y observar la respuesta en pantalla. La lectura debe mostrar una variacion clara respecto al valor de cero y, en su caso, activar las alarmas visuales, acusticas y vibratorias del equipo. Si el detector no responde o la respuesta es anomala, el bump test se considera fallido y el equipo debe someterse inmediatamente a calibracion completa.

#### 8.1.2 Objetivo: confirmar respuesta del sensor y activacion de alarmas

El objetivo del bump test es la comprobacion operativa, no la correccion metrologica. Esta prueba responde a la pregunta 'el detector funciona?' en lugar de 'el detector mide con precision?'. La International Safety Equipment Association (ISEA) recomienda ejecutar esta verificacion antes de cada uso diario, especialmente en aplicaciones donde la exposicion a gases toxicos o atmosferas explosivas supone un riesgo critico para la integridad fisica del personal. En el contexto del mantenimiento de sensores de gases, el bump test constituye la primera linea de defensa contra fallos catastroficos no detectados, pero nunca sustituye a la calibracion de detectores de gases en su sentido completo.

### 8.2 Tabla comparativa bump test vs calibracion

#### 8.2.1 Comparacion en 8 parametros: objetivo, tipo de prueba, duracion, caudal, resultado, frecuencia, documentacion, modifica ajustes

La siguiente tabla sistematiza la diferencia entre bump test y calibracion a traves de ocho parametros tecnicos que definen el alcance, la ejecucion y los resultados de cada procedimiento.

Parametro	Bump Test	Calibracion completa
Objetivo	Verificar funcionamiento y activacion de alarmas	Ajustar la precision de las lecturas del sensor contra valores de referencia conocidos
Tipo de prueba	Funcional (paso/fallo): confirma que responde	Metrologica (ajuste numerico): corrige la deriva de zero y span
Duracion estimada	30 a 60 segundos de exposicion al gas patron	5 a 10 minutos (incluye zero calibration + span calibration)
Caudal de gas	0.5 LPM, suficiente para activar la respuesta del sensor	0.5 LPM regulado constantemente durante todo el proceso
Resultado esperado	Alarma activada y respuesta detectable en pantalla	Lectura final dentro de +/- 4% de la concentracion del gas patron aplicado
Frecuencia recomendada	Diaria, antes de cada uso (recomendacion ISEA)	Periodica: minimo anual; inmediata tras fallo de bump test
Documentacion	Registro de cumplimiento (prueba superada: si/no)	Registro detallado con valores pre-cal, post-cal, condiciones ambientales y certificado
Modifica ajustes internos	No: no altera los factores de correccion del sensor	Si: reescribe los coeficientes de zero y span en la memoria del detector

La tabla evidencia que el bump test y la calibracion de sensores de gases son procedimientos complementarios, no excluyentes. Mientras el bump test responde a la necesidad operativa de una verificacion rapida previa a la exposicion real, la calibracion completa garantiza la trazabilidad metrologica y la precision cuantitativa de las mediciones a lo largo del ciclo de vida del equipo.

## 8.3 Cuando hacer bump test y cuando calibracion completa

### 8.3.1 Bump test diario antes de uso; calibracion periodica o tras fallo de bump test

La programacion optima de verificacion de sensores de gases combina ambos procedimientos en una secuencia logica. El bump test debe ejecutarse diariamente, inmediatamente antes de poner el detector en servicio. Esta frecuencia diaria, recomendada por la ISEA, asegura que cualquier fallo critico del sensor de gas industrial o del sistema de alarmas se detecte antes de que el equipo entre en zona de riesgo. El bump test diario no requiere registro numerico detallado: basta con anotar el resultado como 'superado' o 'fallido' junto con la fecha, el identificador del detector y la referencia del tecnico.

La calibracion completa, por su parte, se ejecuta con una frecuencia minima anual conforme a los requisitos de OSHA y las buenas practicas de calibracion de detectores de gases. No obstante, existen circunstancias que obligan a adelantar la calibracion completa independientemente del calendario programado: el fallo de un bump test, la exposicion del detector a venenos o inhibidores del sensor, condiciones ambientales extremas, caidas o impactos fisicos, y la deteccion de lecturas erraticas o deriva de cero superior al 10% del rango.

### 8.3.2 Flujo de decision: bump test falla -> calibracion completa -> si falla, retirar de servicio

El flujo de decision para un programa efectivo de calibracion de detectores de gases sigue una secuencia jerarquica de tres niveles que define la accion correctiva en funcion del resultado de cada prueba:

**Paso 1:** Bump test diario. Antes de cada uso, aplicar gas patron al detector durante 30 a 60 segundos a 0.5 LPM. Si el equipo responde correctamente y las alarmas se activan, el detector queda autorizado para entrar en servicio. Si el bump test falla, proceder al Paso 2.

**Paso 2:** Calibracion completa. Ejecutar el procedimiento completo de zero calibration con aire fresco o nitrogeno (0.5 LPM, 2 minutos) seguido de span calibration con gas patron certificado al 20-80% del rango (0.5 LPM, 1 minuto hasta estabilizacion). Verificar que la lectura post-cal se situa dentro de +/- 4% de la concentracion del gas patron. Si la calibracion es exitosa, el detector retorna al servicio y se actualiza el registro de calibracion de sensores de gases. Si la calibracion falla, proceder al Paso 3.

Paso 3: Retirada de servicio. Si la calibración completa no logra restablecer la precisión del detector dentro de los límites de tolerancia, el equipo debe retirarse inmediatamente del servicio activo. Se etiquetará el instrumento como 'No operativo - Requiere mantenimiento técnico' y se escalará al departamento de reparación o al fabricante para evaluación de sustitución del sensor. En ningún caso un detector que haya fallado la calibración completa podrá utilizarse en aplicaciones de seguridad industrial.

Este flujo de decisión garantiza que la botella de calibración se emplea de manera eficiente: el consumo de gas patrón en bump tests diarios es mínimo, mientras que la calibración completa con sus correspondientes registros detallados se reserva para los momentos en que el detector requiere ajuste metroológico real. La combinación de ambos procedimientos constituye el estándar de oro en el mantenimiento de sensores de gases para instalaciones industriales, salas de calderas, parkings subterráneos y espacios confinados.

## 9. Documentacion y registros de calibracion

La documentacion constituye el pilar sobre el que se asienta la trazabilidad de cualquier proceso de calibracion de sensores de gases. Un registro completo acredita que la calibracion de detectores de gases se ha ejecutado conforme a un metodo validado, facilita la deteccion de tendencias de deriva y demuestra el cumplimiento normativo ante auditorias.

### 9.1 Informacion requerida por calibracion

Cada intervencion de verificacion de sensores de gases debe generar un registro que capture cinco bloques tematicos: datos generales, identificacion del equipo, características del gas patron, condiciones ambientales y resultados obtenidos. La omision de cualquiera de estos bloques compromete la trazabilidad del proceso.

#### 9.1.1 Datos generales, detector, gas patron, condiciones ambientales, resultados

Los datos generales incluyen fecha, hora, tecnico responsable y referencia del procedimiento aplicado. Para el detector de gases fijo o transmisor de gases se registraran: fabricante, modelo, numero de serie, tag de ubicacion, tipo de sensor y rango de medicion. Si el equipo se instala en zona peligrosa, se anotara la certificacion del detector ATEX, incluyendo el codigo de proteccion (EPL) y el grupo de gases aplicable (IIA, IIB o IIC).

Respecto al gas patron, el registro debe incluir: tipo de gas, concentracion nominal certificada, numero de la botella de calibracion, numero del certificado de analisis (COA), fecha de caducidad e incertidumbre declarada. Se recomienda que la botella de calibracion disponga de al menos tres meses de validez en el momento de la intervencion.

Las condiciones ambientales se miden al inicio y al final: temperatura ( $20 \pm 5$  °C), presion atmosferica (hPa) y humedad relativa (%). Estos parametros afectan directamente la respuesta del sensor de gas industrial, en particular los electroquimicos y cataliticos.

El bloque de resultados documenta los valores de cero y span antes y despues del ajuste, las desviaciones, el error total y observaciones relevantes.

Categoría	Parametro a registrar	Ejemplo / Formato
Datos generales	Fecha, hora, tecnico, procedimiento	2026-01-15, 10:30, J. Perez, PROC-CAL-001 Rev.3
Detector	Fabricante, modelo, serie, tag, sensor, rango	Sensovant, SG-5000, SN123456, TK-101, H2S, 0-50 ppm
Detector ATEX	Marca ATEX, EPL, grupo gas	II 2G Ex db IIC T6 Gb
Gas patron	Tipo, concentracion, botella, COA, caducidad	H2S/N2, 25.0 ppm, BOT-2025-78, COA-4455, 2026-04-30
Condiciones ambientales	Temperatura, presion, humedad relativa	22 C, 1013 hPa, 45 % HR
Resultados pre-calibracion	Cero (ppm), span (ppm), desviacion	1.2 ppm, 23.8 ppm, -4.8 %
Resultados post-calibracion	Cero (ppm), span (ppm), desviacion	0.0 ppm, 25.1 ppm, +0.4 %
Observaciones	Incidencias, acciones correctivas	Sensor en limite de vida util; se programa sustitucion

## 9.2 Certificado de calibracion

El certificado de calibracion es el documento oficial que emite un laboratorio acreditado para atestar que un sensor de gas industrial ha sido comparado contra un patron trazable bajo condiciones controladas.

### 9.2.1 Elementos del certificado: titulo, laboratorio, ID unico, metodo, trazabilidad NIST, incertidumbre $k=2$

El certificado debe abrirse con el titulo literal 'Certificado de Calibracion', seguido del nombre y acreditacion del laboratorio (ej. EN ISO/IEC 17025) y un identificador unico irrepitible. Se describiran el metodo aplicado, el equipo bajo calibracion con plena identificacion, la fecha de ejecucion y las condiciones ambientales registradas.

Los resultados se presentan tabulados: concentracion del patron, indicacion del equipo antes y despues del ajuste, error y estado de aceptacion. El documento incluira una declaracion de trazabilidad NIST que certifique que los gases patron y el equipo de medicion han sido comparados con estandares nacionales. La incertidumbre expandida se declara con factor de cobertura  $k=2$  (95 % de confianza), integrando la incertidumbre del gas patron (del certificado de analisis), las condiciones ambientales, la resolucion del equipo, la repetibilidad, la deriva historica y el efecto de la tasa de flujo. La expresion sera:  $U = +/- X \text{ ppm}$  ( $k = 2$ , 95 % de confianza).

El certificado se cierra con la firma autorizada del tecnico y del aprobador, con nombre, cargo y fecha de emision. La vigencia recomendada para un sensor de gas industrial oscila entre seis y doce meses para electroquimicos y entre doce y veinticuatro para infrarrojos.

Elemento del certificado	Descripción	Observaciones
Título	'Certificado de Calibración'	Literal en el encabezado
Laboratorio	Nombre, dirección, acreditación	Ej: EN ISO/IEC 17025, n. acreditación
ID único	Número de certificado irrepetible	Formato: CC-AAAA-NNNN
Método	Procedimiento aplicado	Ej: CAL-SG-01, basado en EN 60079-29-1
Trazabilidad NIST	Declaración de trazabilidad a patrones nacionales	Cadena de trazabilidad completa
Incertidumbre	$U = \pm X \text{ ppm}$ ( $k = 2, 95 \%$ )	Con presupuesto de incertidumbre detallado
Resultados	Tabla de puntos calibrados con errores	Separar pre y post-calibración si aplica
Firma autorizada	Técnico y aprobador, nombre y fecha	Firma manuscrita o digital cualificada

## 9.3 Plantilla de registro para uso en campo

La aplicacion de un formato unificado en campo reduce errores de transcripcion y garantiza que ningun dato critico quede omitido durante el mantenimiento de sensores de gases.

### 9.3.1 *Tabla-registro lista para imprimir y completar*

La siguiente plantilla recoge todos los parametros necesarios para documentar una calibracion de detectores de gases sobre equipo fijo o portatil. El tecnico completara los campos en orden, verificando la concordancia entre el numero de serie del equipo, el tag de instalacion y la botella de calibracion empleada. Las anomalias se describiran en observaciones con la accion correctiva aplicada.

Campo	Valor a anotar
Fecha de calibracion	DD/MM/AAAA
Hora inicio / fin	HH:MM - HH:MM
Tecnico responsable	Nombre completo y firma
Orden de trabajo	Referencia OT
Fabricante detector	Marca del transmisor de gases
Modelo	Denominacion completa
Numero de serie	Serie unica
Tag / Ubicacion	Identificador de instalacion
Tipo de sensor	Electrochemical, catalitico, IR, etc.
Rango de medicion	Ej: 0-100 ppm H2S
Certificacion ATEX	Codigo Ex (si aplica)
Gas patron utilizado	Composicion y concentracion nominal
Numero de botella	Codigo de la botella de calibracion
Certificado de analisis (COA)	Numero de referencia del COA
Fecha de caducidad gas	DD/MM/AAAA
Temperatura ambiente	C (inicio y final)
Presion atmosferica	hPa
Humedad relativa	% HR
Cero pre-calibracion (ppm)	Lectura con gas cero antes de ajustar
Span pre-calibracion (ppm)	Lectura con gas patron antes de ajustar
Desviacion pre-calibracion (%)	$((\text{Lectura} - \text{Patron}) / \text{Patron}) \times 100$
Cero post-calibracion (ppm)	Lectura con gas cero despues de ajustar
Span post-calibracion (ppm)	Lectura con gas patron despues de ajustar
Desviacion post-calibracion (%)	Error final tras ajuste
Puntos intermedios (si aplica)	Concentracion / Lectura / Desviacion
Estado final	ACEPTADO / RECHAZADO / ACEPTADO CON OBSERVACIONES
Observaciones	Incidencias y acciones correctivas
Proxima calibracion programada	DD/MM/AAAA

El tecnico conservara el original cumplimentado en el archivo de calibraciones durante al menos dos ciclos de auditoria completos. La digitalizacion mediante escaneo constituye una medida de respaldo recomendada. Esta gestion documental soporta la trazabilidad NIST de todo el sistema y facilita el analisis estadistico de la deriva a largo plazo de cada detector de gases fijo instalado en la planta.

## 10. Errores frecuentes durante la calibracion de detectores de gases

La calibracion de detectores de gases constituye uno de los procedimientos criticos dentro del mantenimiento preventivo de cualquier sistema de deteccion fija. No obstante, incluso tecnicos experimentados pueden incurrir en errores de calibracion que comprometen la exactitud del sensor de gas industrial, generan lecturas desviadas o, en casos graves, inhabilitan el equipo para la deteccion de riesgos reales. Este capitulo sistematiza los errores frecuentes observados en campo durante la calibracion de detectores de gas industrial, clasificandolos en tres categorias — operativos, de mantenimiento del sensor y documentales — y proporciona, para cada uno, las soluciones contrastadas que garantizan un resultado metrologicamente valido.

### 10.1 Errores operativos mas comunes

Los errores operativos representan aproximadamente el 60 % de las incidencias durante la verificacion de sensores de gases en entornos industriales. Se originan en la aplicacion incorrecta del procedimiento estandar o en la omision de pasos esenciales del protocolo de calibracion de sensores de gases.

#### 10.1.1 Usar gas patron expirado o sin certificado de analisis vigente

El gas patron empleado en la span calibration debe disponer de un certificado de analisis (COA, Certificate of Analysis) emitido por el fabricante y vigente en fecha. La concentracion real del gas de calibracion puede diferir significativamente del valor nominal tras la fecha de caducidad, especialmente en mezclas reactivas o de baja concentracion. Un error tipico consiste en reutilizar una botella de calibracion agotada o almacenada en condiciones inadecuadas — temperatura superior a 50 °C o exposicion solar directa — sin verificar el COA adjunto. La practica correcta exige comprobar la fecha de validez del gas patron antes de cada sesion y rechazar cualquier botella de calibracion cuyo certificado haya expirado.

#### 10.1.2 Caudal incorrecto: no mantener 0,5 LPM constante

El caudal de aplicacion del gas patron al detector de gases fijo debe estabilizarse en **0,5 litros por minuto (LPM)** durante toda la secuencia de calibracion. Un caudal inferior genera tiempos de respuesta prolongados y riesgo de estabilizacion incompleta; un caudal excesivo puede inducir lecturas falsamente elevadas por efecto de presion en la camara del sensor. El regulador de caudal debe calibrarse anualmente y verificarse con un rotametro de referencia antes de cada intervencion. Los errores frecuentes en este punto incluyen el uso de reguladores genericos sin graduacion precisa o la falta de control cuando la botella de calibracion presenta presion residual baja.

#### 10.1.3 Saltar el zero calibration o hacer span sobre cero inestable

El zero calibration constituye el referencial absoluto sobre el que se construye toda la curva de respuesta del sensor. Omitir esta fase o ejecutarla en un entorno con trazas del gas a detectar — por ejemplo, cerca de zonas de proceso o ventilacion insuficiente — introduce un offset sistematico que invalida la span calibration posterior. Es obligatorio confirmar una lectura de cero estable durante al menos 60 segundos en aire limpio certificado antes de proceder con la calibracion de span. Realizar el ajuste de span sobre un punto de cero inestable constituye uno de los errores de calibracion mas graves y dificiles de diagnosticar posteriormente.

### **10.1.4 Tiempo de exposicion insuficiente al gas patron**

Cada sensor de gas industrial posee un tiempo de respuesta caracteristico ( $t_{90}$ ) que define el intervalo necesario para alcanzar el 90 % de la lectura final ante una concentracion escalonada. Aplicar el gas patron durante un periodo inferior al  $t_{90}$  del sensor produce una estabilizacion aparente pero no real. Como regla general, el tecnico debe mantener el flujo de gas de calibracion durante un minimo de 90 segundos tras alcanzar la lectura de span, o consultar el manual del fabricante para el tiempo de exposicion recomendado especifico del modelo. Los bump test realizados en campo con frecuencia incurren en este error al asociar rapidez con correccion.

### **10.1.5 Calibrar en condiciones ambientales fuera de rango**

La calibracion de detectores de gases debe ejecutarse dentro de los rangos ambientales especificados por el fabricante: tipicamente temperatura entre 0 °C y 40 °C, humedad relativa inferior al 95 % sin condensacion y presion atmosferica en el entorno de 1013 hPa  $\pm$  10 %. Condiciones extremas de temperatura modifican la sensibilidad del sensor electroquimico, mientras que la humedad elevada puede afectar la difusion del gas hacia la camara de deteccion. No se debe iniciar la calibracion de detectores de gas industrial si las condiciones ambientales exceden los limites operativos del equipo.

## **10.2 Errores de mantenimiento del sensor**

Una fraccion significativa de los errores de calibracion tiene su origen en el estado fisico del equipo y sus componentes auxiliares, no en el procedimiento mismo. El mantenimiento de sensores de gases preventivo reduce la incidencia de estos fallos por debajo del 5 %.

### **10.2.1 Sensor contaminado, filtro obstruido o vida util agotada**

Los sensores electroquimicos acumulan contaminantes del proceso — solventes, siliconas, compuestos sulfurados — que degradan selectivamente el electrolito o los electrodos. Un filtro de entrada obstruido por polvo o particulas limita el flujo de gas hacia el sensor, aumentando artificialmente el tiempo de respuesta y reduciendo la lectura de span. Asimismo, cada sensor posee una vida util nominal — generalmente 24 a 36 meses — tras la cual la sensibilidad declina de forma irreversible. La practica recomendada incluye la inspeccion visual del filtro, la verificacion de sensores de gases contra un gas patron de referencia y la sustitucion del sensor cuando la senal de span cae por debajo del 50 % de la sensibilidad original.

### **10.2.2 Tubing deteriorado o incompatible con el gas**

El tubing que conecta la botella de calibracion con el detector debe ser quimicamente compatible con el gas a aplicar. Materiales como el PVC o el caucho natural pueden adsorber gases reactivos — H<sub>2</sub>S, Cl<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> — reduciendo la concentracion efectiva que alcanza el sensor. El tubing deteriorado, con grietas o conexiones deficientes, introduce fugas que alteran la mezcla gaseosa. Se recomienda utilizar tubing de PTFE (politetrafluoroetileno) o acero inoxidable para gases corrosivos, con longitud minima y diametro interior estandar de 4 mm.

### **10.2.3 Tapa de calibracion con sello danado o modelo incorrecto**

La tapa de calibracion — tambien denominada cubierta de calibracion o cal cap — crea una camara estanca que permite la aplicacion controlada del gas patron al sensor de gas industrial sin dispersion ambiental. Un sello deteriorado o una tapa de modelo incompatible genera dilucion del gas con aire ambiente, resultando en lecturas de span sistematicamente bajas. Antes de cada calibracion de detectores de gases, el tecnico debe verificar la integridad del sello perimetrico y la correspondencia exacta de la referencia de la tapa con el modelo de detector.

## 10.3 Errores de documentacion

La trazabilidad metrologica de la calibracion de sensores de gases depende de una documentacion completa y estructurada. Los errores en este ambito no afectan la exactitud tecnica inmediata, pero invalidan la conformidad normativa y dificultan el diagnostico de tendencias de deriva.

### 10.3.1 *No registrar valores pre-cal, no conservar COA, omitir verificacion post-cal*

El registro completo de la calibracion debe incluir tres conjuntos de datos obligatorios: los valores pre-calibration — lecturas de cero y span antes del ajuste —, la copia del certificado de analisis del gas patron empleado, y los valores post-calibration — lecturas de verificacion tras la calibracion que confirmen la estabilidad del ajuste. Omitir cualquiera de estos elementos impide evaluar la deriva del sensor a lo largo del tiempo y expone a la organizacion a no conformidades en auditorias de prevencion de riesgos laborales (PRL). Los sistemas de gestion de mantenimiento de sensores de gases modernos incorporan campos obligatorios para cada uno de estos parametros, automatizando la trazabilidad del proceso.

La tabla siguiente resume los errores frecuentes de calibracion de detectores de gases, sus efectos sobre la medicion y las acciones correctoras recomendadas:

Error frecuente	Efecto sobre la calibración	Solución recomendada
Gas patrón expirado o sin COA vigente	Concentración real desconocida; span calibración incorrecta	Verificar fecha de caducidad y certificado de análisis antes de cada uso
Caudal distinto de 0,5 LPM	Lectura inestable o desviada por efecto de presión	Utilizar regulador calibrado; verificar caudal con rotámetro de referencia
Zero calibración omitido o en ambiente contaminado	Offset sistemático en toda la escala	Ejecutar zero en aire limpio certificado; confirmar estabilidad durante 60 s
Tiempo de exposición insuficiente al gas patrón	Estabilización incompleta; span falso	Mantener flujo mínimo 90 s tras lectura aparente; respetar $t_{90}$ del sensor
Condiciones ambientales fuera de rango	Sensibilidad alterada por temperatura o humedad	Calibrar entre 0 °C y 40 °C; HR < 95 % sin condensación
Sensor contaminado o filtro obstruido	Respuesta lenta; lectura de span reducida	Inspeccionar filtro; sustituir sensor si sensibilidad < 50 %
Tubing incompatible o deteriorado	Adsorción del gas; concentración efectiva reducida	Usar tubing PTFE para gases reactivos; verificar ausencia de fugas
Tapa de calibración con sello dañado	Dilución del gas patrón; span bajo sistemático	Verificar integridad del sello; usar tapa de modelo correspondiente
Falta de registro pre-cal, COA o verificación post-cal	Perdida de trazabilidad; riesgo de no conformidad PRL	Documentar valores pre y post; adjuntar COA; registrar condiciones ambientales

La implementación sistemática de las soluciones indicadas en la tabla anterior reduce la tasa de errores de calibración por debajo del 2 % en equipos con programa de mantenimiento de sensores de gases activo. La formación continua del personal técnico en la identificación de estos errores frecuentes constituye, junto con el uso de gases patrón certificados y equipos de verificación calibrados, la base de un programa de calibración de detectores de gas industrial fiable y conforme con la normativa aplicable de prevención de riesgos laborales.

# 11. Almacenamiento y seguridad de gases de referencia

La calibración de sensores de gases y la calibración de detectores de gases dependen de la integridad física y química del gas patrón empleado en cada procedimiento. Una botella de calibración mal almacenada o manejada sin los protocolos de seguridad adecuados compromete la validez metroológica del proceso, pone en riesgo al personal técnico y puede generar sanciones regulatorias. Este capítulo establece los criterios técnicos para el almacenamiento seguro de los gases de referencia y las medidas preventivas obligatorias en el manejo de cilindros en entornos industriales.

## 11.1 Almacenamiento correcto de la botella de calibración

### 11.1.1 Temperatura 10-30 C, posición vertical, sin luz solar directa

Las condiciones ambientales del almacenamiento determinan la estabilidad de la concentración del gas patrón a lo largo del tiempo. La temperatura ambiente debe mantenerse en el rango de 10 a 30 C; variaciones térmicas superiores a este intervalo aceleran las reacciones de descomposición en mezclas reactivas y modifican la presión interna del cilindro. Se recomienda utilizar termómetros calibrados con trazabilidad NIST para el monitoreo continuo del área de almacenamiento.

La botella de calibración debe colocarse en posición vertical, sujeta mediante cadenas o soportes metálicos anclados a pared o suelo. Nunca se depositarán cilindros en posición horizontal, ya que el contacto prolongado del gas líquido con la válvula aumenta el riesgo de fuga y deteriora los sellos internos. El área de almacenamiento debe ser seca, con humedad relativa inferior al 70 %, y completamente protegida de la luz solar directa, que eleva la temperatura interna del cilindro por encima de los límites seguros. Los sensores de gas industrial y los detectores de gases fijos calibrados con gases deteriorados por mal almacenamiento proporcionan lecturas erróneas que comprometen la seguridad del proceso productivo.

Parametro	Especificacion	Control recomendado
Temperatura	10 - 30 C	Termometro con trazabilidad NIST, alarmas termicas
Posicion del cilindro	Vertical, sujeto con soporte metalico	Cadenas o abrazaderas ancladas a estructura fija
Humedad relativa	< 70 %	Higrometro digital en area de almacenamiento
Iluminacion	Sin luz solar directa	Almacenamiento interior o cobertura opaca
Ventilacion	Natural o forzada, 6 renovaciones/hora	Rejillas de ventilacion en parte alta y baja
Acceso	Restringido a personal autorizado	Cerradura, senalizacion de area restringida

### 11.1.2 Ventilacion, etiquetado GHS, segregacion por compatibilidad

La ventilacion del area de almacenamiento constituye una barrera critica contra la acumulacion de gases en caso de fuga accidental. El sistema de ventilacion debe garantizar al menos 6 renovaciones de aire por hora, con tomas de extraccion situadas en la parte baja del recinto para gases mas densos que el aire y en la parte alta para gases mas ligeros. Durante el mantenimiento de sensores de gases, los tecnicos deben verificar que el area de trabajo cumple con estos requisitos ventilatorios antes de abrir cualquier botella de calibracion.

Cada cilindro debe llevar el etiquetado GHS (Globally Harmonized System) plenamente legible, con los pictogramas de peligro, indicaciones de prudencia y composicion quimica visibles sin necesidad de manipular el envase. La segregacion por compatibilidad exige separar los gases combustibles de los oxidantes con una distancia minima de 3 metros o mediante mamparas ignifugas de 30 minutos. Los gases toxicos, como el sulfuro de hidrogeno o el monoxido de carbono concentrado, requieren almacenamiento en armarios ventilados con control de acceso mediante llave.

## 11.2 Seguridad en el manejo de cilindros

### 11.2.1 Formacion, inspeccion mensual, transporte ADR/IMDG

El manejo seguro de los gases de referencia exige una formacion especifica para todo el personal involucrado en la calibracion de detectores de gases. El programa formativo debe abarcar: identificacion de peligros fisicoquimicos, uso correcto de EPI (equipos de proteccion individual), procedimientos de emergencia ante fuga y primeros auxilios por inhalacion. La documentacion de la formacion debe conservarse durante al menos cinco anos.

La inspeccion mensual de cada cilindro constituye un requisito obligatorio. El responsable de seguridad debe verificar: integridad del cilindro (ausencia de corrosion, abolladuras o grietas), legibilidad del etiquetado, estado de la valvula y presencia de tapa protectora, y vigencia del certificado de analisis (COA). Cualquier anomalia detectada implica la retirada inmediata del cilindro del servicio.

El transporte de gases de referencia se rige por el ADR (Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancias Peligrosas por Carretera) para envios terrestres y por el IMDG (International Maritime Dangerous Goods) para transporte maritimo. Ambas normativas exigen: embalaje certificado UN, senalizacion de la unidad de transporte con placas naranjas, documentacion de mercancia peligrosa y formacion del conductor en materia de seguridad. Los cilindros para calibracion de sensores de gases que atraviesen fronteras europeas deben cumplir estrictamente estos protocolos.

### 11.2.2 Tapas de valvula, reguladores, prueba de fugas

Antes de conectar cualquier gas patron a un detector de gases fijo o a un sistema de calibracion portatil, el tecnico debe seguir el protocolo de verificacion de la cadena de conexion. Los pasos secuenciales son:

1. Verificar la tapa de valvula: la tapa protectora debe encontrarse en su sitio antes del transporte y durante el almacenamiento. Nunca se retirara hasta el momento de la conexion.

2. Inspeccionar el roscado: el hilo de la valvula debe estar limpio, sin restos de material particulado ni danos mecanicos. Utilizar solo racores compatibles con el tipo de rosca (CGA, DIN o BS segun corresponda).
3. Instalar el regulador adecuado: el regulador de presion debe estar especificado para el gas concreto y el rango de presion del cilindro. Verificar la fecha de revision del regulador; se recomienda una revision interna cada 12 meses.
4. Realizar la prueba de fugas: una vez instalada la conexion, aplicar agua jabonosa o solucion detectora de fugas en todos los puntos de union. La aparicion de burbujas indica una fuga que debe corregirse antes de abrir el flujo de gas hacia el sensor de gas industrial.

## 11.3 Vida util y disposicion

### 11.3.1 Vida tipica 12-24 meses, gases reactivos 6-12 meses

La vida util de una botella de calibracion depende directamente de la estabilidad quimica de su contenido. Los gases de referencia inertes o de baja reactividad, como el nitrogeno puro o las mezclas de metano en nitrogeno, mantienen su concentracion nominal durante un periodo tipico de **12 a 24 meses** desde la fecha de fabricacion. Sin embargo, los **gases reactivos** —incluyendo mezclas que contienen dióxido de azufre, óxido nítrico, amoníaco o compuestos organosulfurados— presentan una vida util reducida de 6 a 12 meses debido a la degradacion quimica progresiva y a la adsorcion sobre las paredes internas del cilindro.

El certificado de analisis (COA) emitido por el proveedor acreditado debe incluir: fecha de fabricacion, fecha de caducidad, numero de cilindro, composicion exacta con incertidumbre expandida y referencia de trazabilidad NIST. Para garantizar la validez metrologica de la calibracion de sensores de gases, ningun gas de referencia vencido debe emplearse en procedimiento alguno, independientemente de que el cilindro presente presion residual.

### 11.3.2 Programa de retorno del proveedor, nunca ventilar gases toxicos

La disposicion final de los gases de referencia y de los cilindros vacios debe realizarse exclusivamente a traves del programa de retorno del proveedor. Los fabricantes acreditados ofrecen sistemas de recogida logistica que garantizan la reutilizacion, reciclaje o eliminacion controlada de los envases y de los gases residuales. El usuario debe conservar el COA y el albaran de entrega para gestionar la devolucion conforme a la normativa de residuos peligrosos.

Nunca se ventilaran gases toxicos hacia la atmosfera del recinto de trabajo. La liberacion directa de compuestos como sulfuro de hidrogeno, monoxido de carbono o amoníaco en espacios cerrados o semicerrados genera concentraciones letales en segundos. Incluso en exteriores, la ventilacion intencionada de residuos gaseosos requiere sistemas de captacion y neutralizacion quimica. El incumplimiento de esta medida constituye una infraccion grave en materia de prevencion de riesgos laborales y puede acarrear responsabilidades penales.

Etapa	Medida de seguridad	Frecuencia / Condicion
Almacenamiento	Control termico 10-30 C, posicion vertical	Continuo
Almacenamiento	Revision de etiquetado GHS y validez del COA	Mensual
Manejo	Verificacion de tapa de valvula y regulador	Antes de cada uso
Manejo	Prueba de fugas con solucion jabonosa	Antes de cada conexion
Transporte	Cumplimiento ADR/IMDG, placas naranjas	Cada envio
Uso	Registro de consumo y control de vida util	Por cada calibracion
Disposicion	Retorno al proveedor acreditado	Al finalizar vida util o al vaciar

La correcta gestion del almacenamiento, la seguridad en el manejo y la disposicion regulada de los gases de referencia constituyen pilares inseparables de un programa de calibracion de detectores de gases robusto y conforme con la normativa vigente. La aplicacion rigurosa de estos protocolos preserva tanto la precision metrologica de los equipos como la integridad fisica del personal tecnico encargado del mantenimiento de sensores de gases en instalaciones industriales.

## 12. Sensibilidad cruzada y factores que afectan la deriva del sensor

La precisión de un sensor de gas industrial depende no solo del éxito de la calibración de sensores de gases realizada en condiciones controladas, sino también de su comportamiento en el entorno operativo real. Dos fenómenos determinan la fiabilidad a largo plazo de cualquier detector de gases fijo: la sensibilidad cruzada (cross-sensitivity) y la deriva del sensor. Ambos factores condicionan la frecuencia de mantenimiento de sensores de gases y deben comprenderse a fondo para programar intervenciones preventivas con criterio técnico.

### 12.1 Sensibilidad cruzada (cross-sensitivity)

#### 12.1.1 Definición: respuesta del sensor a gases distintos del objetivo

La sensibilidad cruzada, conocida técnicamente como cross-sensitivity, es el fenómeno por el cual un sensor de gas responde no solo al compuesto objetivo para el que fue calibrado, sino también a otros gases presentes en la atmósfera de trabajo. Esta respuesta parasita genera lecturas que pueden sobreestimar o, en algunos casos, subestimar la concentración real del analito de interés, comprometiendo la validez de la calibración de detectores de gases.

En los sensores electroquímicos, la cross-sensitivity se produce cuando un gas interferente accede al electrodo de trabajo y experimenta una reacción redox similar al gas objetivo. Por ejemplo, un sensor de monóxido de carbono (CO) puede responder de forma significativa a la presencia de hidrógeno (H<sub>2</sub>), generando una señal positiva que el instrumento interpreta como concentración de CO. En la calibración de sensores electroquímicos, es imprescindible consultar la matriz de interferencias proporcionada por el fabricante antes de validar la lectura en atmósferas complejas.

Los sensores NDIR (Non-Dispersive Infrared, infrarrojo no dispersivo) presentan generalmente menor sensibilidad cruzada gracias a la selectividad del filtro óptico centrado en la longitud de onda de absorción del gas objetivo. Sin embargo, compuestos con bandas de absorción cercanas, como el dióxido de carbono frente a monóxido de carbono en determinadas configuraciones, pueden introducir errores sistemáticos no despreciables. La calibración de sensores NDIR en presencia de interferentes conocidos permite cuantificar y compensar estos efectos.

#### 12.1.2 Factores de corrección y elección de mezclas de gas patrón

La mitigación de la sensibilidad cruzada se aborda mediante dos estrategias complementarias. La primera consiste en aplicar factores de corrección numéricos proporcionados por el fabricante del sensor: si un sensor de CO presenta un 30% de respuesta cruzada ante H<sub>2</sub> a 100 ppm, la lectura debe compensarse algebraicamente cuando se confirme la presencia simultánea del interferente. La segunda estrategia implica la selección cuidadosa de las mezclas de gas patrón empleadas durante la calibración de sensores de gases. Cuando la atmósfera de proceso contiene interferentes estables, la mezcla patrón debe incorporar dichos compuestos en concentraciones representativas para que la curva de calibración refleje las condiciones reales.

En el caso particular de los sensores de VOC (Volatile Organic Compounds, compuestos orgánicos volátiles), el isobutileno se utiliza habitualmente como gas patrón sustituto. Dado que cada compuesto orgánico exhibe una sensibilidad diferente frente al sensor de fotoionización (PID), el factor de respuesta relativa (RF, Response

Factor) debe aplicarse para convertir la lectura en isobutileno a la concentración real del compuesto objetivo. Omitir esta corrección introduce errores que pueden superar el 50% en la estimación de concentración.

## 12.2 Factores que afectan la deriva del sensor

La deriva del sensor (sensor drift) es la desviación progresiva de la señal de salida respecto al valor de calibración inicial, observada incluso cuando la concentración del gas objetivo permanece constante. Los sensores electroquímicos presentan típicamente una deriva del 2% al 5% mensual de la señal de referencia, valor que condiciona los intervalos de calibración recomendados. La tabla siguiente resume los principales factores ambientales y operativos que aceleran este proceso.

Factor	Mecanismo de afectacion	Impacto en la deriva	Mitigacion recomendada
Temperatura ambiente	Alteracion de la cinetica electroquimica y cambio en la solubilidad de gases en el electrolito	Variacion de $\pm 0.5\%$ a $\pm 3\%$ por $10^{\circ}\text{C}$ de desviacion respecto a condiciones de calibracion	Compensacion por sensor de temperatura interno; calibrar a temperatura de trabajo
Humedad relativa	Corrosion de contactos electronicos; absorcion en membranas de diffusion; dilucion del electrolito	Deriva creciente en rangos $<20\%$ y $>85\%$ HR; respuesta erratica en condensacion	Control del entorno; uso de camaras de calibracion con humedad regulada
Envejecimiento natural	Degradacion del electrolito; desgaste del electrode de trabajo; perdida de capacidad catodica	2-5% mensual en sensores electroquimicos; irreversible	Sustitucion programada segun vida util del fabricante
Contaminantes (polvo, grasa)	Obstruccion de membrana de diffusion; formacion de peliculas sobre el electrode	Disminucion del tiempo de respuesta; caida de sensibilidad hasta 50%	Filtros de proteccion; limpieza periodica segun normativa de mantenimiento de sensores de gases
Siliconas y vapores quimicos	Envenenamiento del catalizador; formacion de capas aislantes en el electrode	Perdida irreversible de sensibilidad; requiere sustitucion del sensor	Evitar exposicion prolongada; uso de filtros quimicos especificos
Presion atmosferica	Variacion del numero de moleculas por unidad de volumen a concentracion constante en ppm	Error proporcional a la diferencia de presion respecto a la calibracion	Compensacion barometrica; calibracion a presion local

### 12.2.1 Temperatura ambiente: efecto en sensibilidad y tiempo de respuesta

La temperatura ambiente ejerce una influencia directa sobre la velocidad de las reacciones electroquimicas y sobre la difusion del gas a traves de la membrana. Por cada  $10^{\circ}\text{C}$  de aumento respecto a la temperatura de calibracion de sensores electroquimicos, la sensibilidad puede incrementarse entre un 0.5% y un 3%, dependiendo de la quimica del sensor. Los sensores modernos incorporan termistores internos que compensan electronicamente este efecto, aunque la compensacion tiene limites: la mayoría de los fabricantes especifican rangos operativos de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $+40^{\circ}\text{C}$  dentro de los cuales la deriva termica se mantiene controlada.

### 12.2.2 Humedad: corrosion de contactos, absorcion en membranas

La humedad relativa (HR, Relative Humidity) constituye uno de los factores mas problematicos en entornos industriales. Valores inferiores al 20% HR provocan la desecacion progresiva del electrolito en sensores electroquimicos, reduciendo la conductividad ionica y aumentando el tiempo de respuesta  $t_{90}$ . Por el contrario, valores superiores al 85% HR pueden inducir condensacion en la superficie de la membrana, bloqueando parcialmente la diffusion del gas y generando lecturas inestables. La corrosion de los contactos electronicos del conector, favorecida por ambientes humedos, introduce resistencias parasitas que la electronica del detector interpreta como desviaciones de senal. Durante la calibracion de detectores de gases, se recomienda mantener la humedad entre 40% y 70% HR para minimizar estas fuentes de error.

### 12.2.3 Envejecimiento natural: degradacion del electrolito y electrode

El envejecimiento natural es un proceso inevitable que resulta de la degradacion quimica del electrolito acuoso, del desgaste mecanico del electrode de trabajo y de la reduccion gradual de la capacidad de reduccion del electrode de referencia. En condiciones normales, un sensor electroquimico tipico experimenta una deriva del sensor del 2% al 5% mensual, lo que significa que tras seis meses sin calibrar, la desviacion puede alcanzar el 12-30% del valor de referencia. Por este motivo, los protocolos de mantenimiento de sensores de gases exigen verificaciones con gas patron trimestrales como minimo, y calibraciones completas semestrales o anuales segun la criticidad de la aplicacion.

### 12.2.4 Contaminantes: polvo, grasa, siliconas, vapores quimicos organicos

Los contaminantes mecanicos (polvo, particulas abrasivas, grasa) depositados sobre la membrana de diffusion obstruyen los poros y reducen la tasa de llegada de moleculas al electrode de trabajo. Este efecto se manifiesta como un alargamiento del tiempo de respuesta y una caida progresiva de la sensibilidad que puede alcanzar el 50% si no se interviene. Mas criticos aun son los contaminantes quimicos: las siliconas, presentes en lubricantes, selladores y productos de limpieza, se adsorben sobre la superficie catalitica del electrode

formando una capa aislante que produce el envenenamiento irreversible del sensor. Los vapores quimicos organicos de disolventes aromaticos y alifaticos pueden generar interferencias transitorias o permanentes dependiendo de su reactividad. La instalacion de filtros de proteccion adecuados y la prohibicion explicita del uso de productos siliconados en la proximidad del detector de gases fijo constituyen medidas preventivas obligatorias.

#### **12.2.5 Presion atmosferica: efecto en concentraciones por volumen**

La presion atmosferica modifica el numero de moleculas de gas por unidad de volumen incluso cuando la concentracion en partes por millon (ppm) permanece constante. Dado que los sensores de gas responden al numero de moleculas que impactan en el elemento sensible, una disminucion de la presion atmosferica (por ejemplo, en instalaciones a gran altitud) reduce la senal de salida respecto a la obtenida durante la calibracion a nivel del mar. Los detectores equipados con sensores barometricos internos compensan esta variacion automaticamente recalculando la lectura corregida. En ausencia de compensacion, la calibracion debe repetirse in situ cuando la presion local difiera en mas de  $\pm 50$  mbar de la presion registrada durante la calibracion original. Este factor resulta especialmente relevante en la calibracion de sensores NDIR y en sensores de oxigeno, donde la precision volumetrica es critica para la evaluacion de riesgos.

## 13. Criterios de aceptacion y solucion de problemas

La calibracion de sensores de gases solo concluye con garantia cuando los resultados cumplen criterios objetivos de calidad y los procedimientos de verificacion de sensores de gases confirman la trazabilidad NIST de cada medicion. Este capitulo define los umbrales tecnicos que determinan si una calibracion es aceptable y presenta una guia rapida de solucion de problemas para las incidencias mas frecuentes durante el mantenimiento de sensores de gases en entornos industriales.

### 13.1 Criterios de aceptacion de la calibracion

Todo proceso de calibracion de detectores de gases debe finalizar con una evaluacion cuantitativa que certifique el estado metrologico del equipo. Los criterios de aceptacion establecen los limites numericos dentro de los cuales el sensor se considera apto para su funcion de seguridad.

#### 13.1.1 Verificacion post-cal: lectura dentro +/- 4% de gas patron

Tras aplicar el gas patron de referencia con trazabilidad NIST certificada, el transmisor de gases debe indicar un valor que se encuentre dentro de una banda de tolerancia de +/- 4% respecto a la concentracion nominal del gas aplicado. Este margen se calcula sobre la concentracion del gas patron, no sobre el fondo de escala del sensor. Por ejemplo, si se aplica un gas patron de 50 ppm de monoxido de carbono, la lectura del detector de gases fijo debe estabilizarse entre 48 ppm y 52 ppm para considerarse valida.

El tecnico debe registrar el valor indicado por el sensor de gas industrial, compararlo con el certificado del cilindro de gas patron y documentar la desviacion observada. Solo cuando esta desviacion queda contenida dentro del +/- 4% el certificado de calibracion adquiere validez tecnica. Si la desviacion excede dicho limite, el equipo requiere ajuste adicional o sustitucion del elemento sensorial antes de su puesta en servicio.

#### 13.1.2 Incertidumbre expandida: 95% confianza con factor $k=2$

El segundo criterio de aceptacion evalua la calidad metrologica global del proceso. La incertidumbre expandida de la calibracion, calculada con un factor de cobertura  $k = 2$  que corresponde a un nivel de confianza del 95%, debe ser inferior al limite especificado por el fabricante del equipo y, en todo caso, coherente con la incertidumbre declarada en el certificado del gas patron.

Este calculo integra las fuentes de variabilidad del sistema: incertidumbre del gas patron con trazabilidad NIST, estabilidad del generador de flujo, resolucion del display del detector de gases fijo, repetibilidad del sensor de gas industrial y condiciones ambientales de la prueba. Un resultado con incertidumbre expandida dentro de estos parametros confirma que la calibracion de sensores de gases se ha ejecutado con rigor metrologico suficiente para aplicaciones criticas de prevencion de riesgos laborales (PRL).

### 13.2 Guia rapida de solucion de problemas

Durante el mantenimiento de sensores de gases, ciertos sintomas se repiten con frecuencia. La tabla siguiente agrupa los problemas mas habituales, sus causas probables y las acciones correctivas recomendadas para agilizar la resolucion de incidencias sin detener operaciones de forma innecesaria.

#### 13.2.1 Tabla de problemas, causas probables y acciones correctivas

Problema detectado	Causa probable	Accion correctiva
Lectura inestable o fluctuante	Gas patron proximo a su fecha de caducidad	Reemplazar el cilindro por gas patron certificado con trazabilidad NIST vigente
Desviacion superior a +/- 4% en verificacion post-cal	Sensor contaminado o envejecido	Sustituir el elemento sensorial y repetir la calibracion de detectores de gases completa
Respuesta lenta del transmisor de gases	Caudal de aplicacion incorrecto	Verificar que el flujo de gas patron coincide con el valor especificado por el fabricante (tipicamente 0.5 - 1.0 L/min)
Lectura anomala en condiciones normales	Filtros de entrada obstruidos	Limpiar o reemplazar los filtros de proteccion del sensor de gas industrial
Comportamiento erratico sin causa ambiental aparente	Interferencia electromagnetica (EM) cerca de fuentes de campo intenso	Reubicar el detector de gases fijo o instalar blindaje EM conforme a la normativa aplicable
Fallo en comunicacion con sistema central	Cableado o conexion del lazo 4-20 mA deteriorado	Revisar continuidad electrica y conexiones del transmisor de gases; verificar ausencia de corrosion en bornes

La aplicacion sistematica de esta guia de solucion de problemas durante las tareas de verificacion de sensores de gases reduce significativamente los tiempos de diagnostico. El tecnico debe trabajar siempre siguiendo el orden de prioridad: primero verificar la validez del gas patron y las condiciones de aplicacion, despues evaluar el estado fisico del sensor de gas industrial, y finalmente descartar factores ambientales o electromagneticos externos antes de proceder a la sustitucion de componentes. Esta metodologia garantiza que el mantenimiento de sensores de gases se ejecute de forma eficiente, minimizando tanto los costes operativos como los periodos de indisponibilidad del sistema de deteccion.

## 14. Como elegir el gas patron adecuado para la calibracion

La calibracion de sensores de gases exige la seleccion rigurosa del gas patron que servira como referencia durante el ajuste del equipo. Elegir incorrectamente la botella de calibracion o ignorar parametros como la trazabilidad NIST o la compatibilidad quimica de la mezcla puede introducir errores sistematicos superiores al 10% en la lectura del detector, comprometiendo tanto la seguridad del personal como el cumplimiento normativo en entornos industriales. Este apartado establece los criterios tecnicos para determinar como elegir el gas patron adecuado en funcion del tipo de sensor, el gas objetivo y las condiciones de la instalacion.

### 14.1 Criterios de seleccion del gas de referencia

Antes de seleccionar una botella de calibracion, el tecnico debe evaluar tres requisitos fundamentales que garantizan la validez metrologica del proceso: la concentracion del gas respecto al rango del sensor, la estabilidad quimica de la mezcla y la trazabilidad documentada del proveedor.

#### 14.1.1 Concentracion al 20-80% del rango del sensor

El primer criterio para la seleccion del gas patron consiste en verificar que su concentracion se situe entre el 20% y el 80% del rango de medicion completo del sensor de gas industrial. Calibrar con valores inferiores al 20% del fondo de escala reduce la resolucion efectiva del ajuste y magnifica el error relativo del punto de calibracion, mientras que concentraciones superiores al 80% pueden saturar la celda detectada y generar respuestas no lineales en la calibracion de detectores de gases. Como referencia practica, un detector de CO con rango 0-500 ppm debe calibrarse con un gas patron de 100 ppm (20%) como minimo y 400 ppm (80%) como maximo; el valor optimo recomendado se situa en el 50% del rango, es decir, 250 ppm para este ejemplo. Esta regla del 20-80% aplica tanto a la calibracion de CO como a la calibracion de H<sub>2</sub>S, la calibracion de NH<sub>3</sub>, la calibracion de CH<sub>4</sub> y la calibracion de CO<sub>2</sub>, independientemente de la tecnologia de deteccion empleada.

#### 14.1.2 Compatibilidad quimica: mezclas estables sin reaccion entre componentes

La botella de calibracion que contiene gases de referencia multigas debe formularse con componentes quimicamente compatibles entre si y con el material del cilindro. La presencia de combinaciones reactivas — como sulfuro de hidrogeno (H<sub>2</sub>S) junto a dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>), o amoniac (NH<sub>3</sub>) con halogenados — provoca reacciones en fase gaseosa que alteran la concentracion real de la mezcla a lo largo del tiempo, invalidando el certificado de analisis inicial. Los proveedores certificados de gases de referencia documentan la estabilidad garantizada de cada mezcla, tipicamente 12 o 24 meses desde la fecha de fabricacion, siempre que el cilindro se almacene entre 10°C y 30°C fuera de la luz solar directa. Para la calibracion de detectores de gases fijos en instalaciones con multiples riesgos, se recomienda preferir botellas monogas cuando exista duda sobre la compatibilidad quimica de los componentes de una mezcla multigas.

#### 14.1.3 Trazabilidad NIST obligatoria y certificado de analisis (COA) vigente

Todo gas patron empleado en la calibracion de sensores de gases en entornos industriales debe contar con trazabilidad NIST (National Institute of Standards and Technology), lo que garantiza que la concentracion declarada se ha verificado mediante comparacion directa o indirecta con patrones primarios o secundarios reconocidos internacionalmente. El certificado de analisis (COA, Certificate of Analysis) que acompaña a cada botella de calibracion debe especificar: la concentracion nominal y real con su incertidumbre expandida

(típicamente  $\pm 2\%$  o  $\pm 5\%$  del valor nominal), el número de lote, la fecha de fabricación, la fecha de caducidad, el método de análisis empleado y la declaración de trazabilidad NIST. El técnico responsable debe verificar que el COA este vigente antes de cada sesión de calibración; el uso de gases de referencia caducados constituye una desviación del procedimiento que invalida tanto el ajuste del equipo como la documentación de mantenimiento preventivo asociada al detector ATEX.

## 14.2 Selección por tipo de sensor y aplicación

La naturaleza química del gas medido y el principio de detección del sensor determinan la elección específica del gas patrón. La tabla siguiente resume las combinaciones recomendadas para los sensores industriales más frecuentes:

Tipo de sensor	Gas objetivo	Gas patron recomendado	Concentracion tipica	Observaciones tecnicas
Electroquimico (EC)	O <sub>2</sub>	Aire ambiente o N <sub>2</sub> puro	20.9% (aire) / 0% (N <sub>2</sub> )	Punto span: aire sintetico al 20.9% O <sub>2</sub> ; punto cero: nitrogeno puro al 99.999%
Electroquimico (EC)	CO	CO en aire sintetico	50-200 ppm	Calibracion de CO con gas monocomponente; evitar mezclas con H <sub>2</sub> S en misma botella
Electroquimico (EC)	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S en nitrogeno o aire	10-50 ppm	Calibracion de H <sub>2</sub> S; el gas patron requiere botella de acero inoxidable por corrosividad
Electroquimico (EC)	NH <sub>3</sub>	NH <sub>3</sub> en nitrogeno	25-100 ppm	Calibracion de NH <sub>3</sub> ; alta reactividad quimica, estabilidad limitada a 12 meses
Catalitico (pellistor)	CH <sub>4</sub> / LEL	CH <sub>4</sub> en aire o C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> equivalente	20-50% LEL	Calibracion de CH <sub>4</sub> ; verificar factor de equivalencia si se usa propano sustituto
Infrarrojo NDIR	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> en nitrogeno o aire	1,000-5,000 ppm	Calibracion de CO <sub>2</sub> ; requiere gas patron especifico por selectividad NDIR
Fotoelectrico (PID)	VOC genericos	Isobutileno (C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> ) en aire	10-100 ppm	Gas patron surrogate; aplicar factor de correccion segun compuesto objetivo
Galvanico	O <sub>2</sub>	Aire ambiente certificado	20.9% O <sub>2</sub> balance N <sub>2</sub>	Verificar humedad relativa del gas patron entre 30-70% HR

#### 14.2.1 Calibracion de O<sub>2</sub>: aire ambiente (20.9%) o nitrogeno para cero

La calibracion de O<sub>2</sub> en sensores electroquimicos y galvanicos emplea como gas patron el aire ambiente con concentracion conocida de oxigeno (20.9% volumen/volumen a nivel del mar y 20°C) para el ajuste del punto span, y nitrogeno de alta pureza (99.999%) para el ajuste del punto cero (0% O<sub>2</sub>). En entornos controlados, se prefiere utilizar aire sintetico certificado contenido en una botella de calibracion con trazabilidad NIST, en lugar de aire ambiente, para eliminar la variabilidad introducida por la altitud, la temperatura y la posible contaminacion local. La concentracion de oxigeno en el aire disminuye aproximadamente un 0.03% por cada 100 metros de elevacion sobre el nivel del mar; en instalaciones situadas a mas de 500 metros de altitud, el uso de aire sintetico certificado a 20.9% se vuelve obligatorio para mantener el error de calibracion por debajo de  $\pm 0.5\%$  O<sub>2</sub>.

#### 14.2.2 Calibracion de CO, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>: gas patron monogas tipico

Los sensores electroquimicos para monoxido de carbono, sulfuro de hidrogeno y amoniaco se calibran tipicamente con gases de referencia monogas disueltos en aire sintetico o nitrogeno, segun la recomendacion del fabricante del sensor. La calibracion de CO utiliza botellas con concentraciones entre 50 ppm y 200 ppm de CO balance aire, mientras que la calibracion de H<sub>2</sub>S se realiza con patrones de 10 ppm a 50 ppm de H<sub>2</sub>S, generalmente en matriz de nitrogeno por estabilidad quimica. La calibracion de NH<sub>3</sub> presenta mayor complejidad debido a la alta reactividad y adsorcion del amoniaco en las paredes del sistema; los gases de referencia de NH<sub>3</sub> requieren botellas con recubrimiento interior especial y tienen una vida util maxima garantizada de 12 meses, frente a los 24 meses tipicos de otros gases menos reactivos.

#### 14.2.3 Calibracion de CH<sub>4</sub>/LEL: gas combustible certificado

La calibracion de CH<sub>4</sub> en detectores de gases combustibles tipo catalitico (pellistor) o infrarrojo (NDIR) se realiza con metano certificado en aire, tipicamente al 20% o 50% del Limite de Explosividad Inferior (LEL). El LEL del metano es 5.0% volumen en aire, por lo que una concentracion de calibracion al 50% LEL equivale a 2.5% vol (25,000 ppm) de CH<sub>4</sub>. Cuando el gas objetivo en la instalacion es distinto del metano — como propano, butano o hidrogeno — el tecnico debe aplicar el factor de equivalencia de respuesta (REF, Relative Response Factor) programado en el detector de gases fijo, o bien utilizar el gas especifico como gas patron si el equipo permite calibracion directa multigas. La eleccion incorrecta del gas combustible para la calibracion de CH<sub>4</sub> puede producir lecturas con errores superiores al 40% en la medicion de gases distintos al metano.

#### **14.2.4 Calibración de CO<sub>2</sub>: sensores NDIR con gas patrón específico**

La calibración de CO<sub>2</sub> se realiza exclusivamente con sensores infrarrojos no dispersivos (NDIR, Non-Dispersive Infrared), tecnología que mide la absorción de radiación infrarroja característica de la molécula de dióxido de carbono. El gas patrón para la calibración de CO<sub>2</sub> debe contener CO<sub>2</sub> de alta pureza disuelto en nitrógeno seco o aire sintético, con concentraciones que oscilan entre 1,000 ppm (aplicaciones de calidad del aire interior) y 50,000 ppm (5% vol, aplicaciones industriales de seguridad). Los sensores NDIR de CO<sub>2</sub> no presentan interferencias significativas de otros gases comunes en entornos industriales, pero la presencia de vapor de agua en el gas patrón puede alterar la lectura; por ello, los gases de referencia para calibración de CO<sub>2</sub> deben especificar un contenido de humedad inferior a 10 ppm o indicar explícitamente la concentración de H<sub>2</sub>O en el certificado de análisis para aplicar la corrección correspondiente.

### **14.3 Equivalencia y gases sustitutos**

En ciertas aplicaciones, el gas objetivo no está disponible como gas patrón certificado por razones de toxicidad extrema, inestabilidad química o coste prohibitivo. En estos casos, la calibración de detectores de gases puede realizarse con un gas sustituto (surrogate) aplicando un factor de equivalencia matemático.

#### **14.3.1 Factores de equivalencia para calibrar con gas sustituto (surrogate)**

El factor de equivalencia relaciona la respuesta del sensor ante el gas sustituto con su respuesta ante el gas objetivo real. Por ejemplo, en la calibración de sensores catalíticos para butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) utilizando propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) como gas patrón surrogate, el factor de equivalencia típico es 0.8, lo que implica que la lectura del detector debe multiplicarse por este coeficiente para obtener la concentración equivalente de butano. Los factores de equivalencia varían según el tipo de sensor, el fabricante y la concentración de calibración; el técnico debe consultar la hoja técnica del sensor de gas industrial o el manual del detector ATEX para confirmar el valor aplicable antes de proceder con el ajuste. La documentación del certificado de análisis de la botella de calibración surrogate debe conservarse junto con el registro de calibración para garantizar la trazabilidad completa del proceso.

#### **14.3.2 Isobutileno como gas patrón para calibración de sensores de VOC**

La calibración de sensores de compuestos orgánicos volátiles (VOC) mediante detectores de fotoionización (PID) utiliza frecuentemente isobutileno (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>) como gas patrón surrogate por su estabilidad química, disponibilidad comercial y potencial de ionización intermedio (8.44 eV). Cuando el gas objetivo en la instalación es otro VOC — como benceno, tolueno o xileno — el técnico debe aplicar el factor de respuesta relativa (RF, Response Factor) específico de cada compuesto respecto al isobutileno. Por ejemplo, si el RF del benceno respecto al isobutileno es 0.53, un detector calibrado con 100 ppm de isobutileno que posteriormente mide una atmósfera con 100 ppm de benceno mostrará una lectura de aproximadamente 53 ppm a menos que se programe la corrección en el firmware del equipo. La selección del gas patrón surrogate y la correcta aplicación de su factor de equivalencia constituyen una decisión crítica en la calibración de detectores de gases fijos instalados en industrias químicas, almacenamiento de disolventes y tratamiento de aguas residuales, donde la diversidad de compuestos orgánicos presentes requiere una configuración meticulosa del sistema de detección.

## 15. Aplicaciones sectoriales de la calibración de detectores de gases

La calibración de detectores de gases adquiere matices decisivos según el sector industrial de despliegue. Cada entorno impone condiciones ambientales, reglamentarias y operativas que condicionan la selección del sensor de gas industrial, la frecuencia de verificación y los procedimientos de ajuste. El análisis sectorial que sigue ofrece criterios aplicables para integrar la calibración de sensores de gases dentro de las rutinas de mantenimiento, garantizando la continuidad de la protección y el cumplimiento normativo vigente.

### 15.1 Industria alimentaria

#### *15.1.1 Detectores de gases para industria alimentaria: NH<sub>3</sub> en cámaras frigoríficas, CO<sub>2</sub> en bodegas*

El sector alimentario constituye uno de los entornos más exigentes para el despliegue de un detector de gases para industria alimentaria. Las cámaras frigoríficas emplean amoníaco (NH<sub>3</sub>) como refrigerante, pero su uso conlleva un riesgo tóxico que exige la instalación de un detector de gases fijo con sensor electroquímico específico. La calibración de NH<sub>3</sub> se ejecuta con gas patrón al 25 ppm y al 50 ppm, verificando linealidad en el rango cuyo límite es 25 ppm como valor límite medio ponderado (VLA-ED) según el INSST.

En bodegas de atmósfera controlada, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) sustituye al oxígeno para frenar la maduración. La calibración de CO<sub>2</sub> requiere gas patrón al 0,5 % vol. y al 1,5 % vol., comprobando respuesta antes de que las concentraciones superen el umbral de riesgo inmediato fijado en 4 % vol. Un transmisor de gases instalado en la bodega debe transmitir la señal al sistema centralizado para activar la ventilación forzada.

Parametro	NH3 (camaras frigorificas)	CO2 (bodegas)
Gas patron calibracion	25 ppm / 50 ppm	0,5 % vol. / 1,5 % vol.
Caudal aplicacion	0,5 L/min	0,5 L/min
Tiempo estabilizacion	60-90 s	45-60 s
Umbral alarma baja	25 ppm	5000 ppm
Umbral alarma alta	50 ppm	15000 ppm
Tolerancia post-calibracion	+/- 5 % lectura	+/- 5 % lectura

### 15.1.2 Frecuencia de calibracion en entornos humedos con vapores organicos

Los procesados de alimentos presentan humedad relativa superior al 85 % y vapores organicos volatiles (VOC) que aceleran la deriva del sensor. La calibracion de sensores de gases en este sector debe programarse con periodicidad trimestral como minimo, reduciendose a mensual donde los VOC superen el 10 % del LEL. El mantenimiento de sensores de gases incluye la sustitucion del filtro hidrofobico cada seis meses y la comprobacion del sellado IP65.

## 15.2 Salas de calderas

### 15.2.1 Detector de gases para salas de calderas: CO, CH4, O2 en combustion

La combustion en salas de calderas genera multiples peligros gaseosos simultaneos. El monoxido de carbono (CO), producto de combustion incompleta, requiere calibracion de CO con patrones al 35 ppm y 100 ppm. El metano (CH<sub>4</sub>) exige calibracion de CH<sub>4</sub> al 20 % LEL y al 50 % LEL, verificando disparo de alarma antes del 60 % LEL. La calibracion de O<sub>2</sub> utiliza aire sintetico (20,9 % vol.) y nitrogeno (100 %), comprobando lecturas dentro de 19,5 % vol. a 23,5 % vol.

Gas	Gas patron	Umbral alarma	Frecuencia calibracion
CO	35 ppm / 100 ppm	35 ppm / 100 ppm	Trimestral
CH <sub>4</sub>	20 % LEL / 50 % LEL	20 % LEL / 40 % LEL	Trimestral
O <sub>2</sub>	20,9 % vol. / N <sub>2</sub> 100 %	19,5 % / 23,5 % vol.	Semestral

### 15.2.2 Procedimiento de calibracion en entornos con alta temperatura ambiente

Las salas de calderas superan frecuentemente los 40 grados centigrados durante la operacion. Antes de la calibracion de detectores de gases, confirmar que la temperatura se encuentra entre 15 grados y 35 grados centigrados. El procedimiento secuencial es:

1. Aislar electricamente el detector del sistema de control.
2. Aplicar gas CO al 35 ppm (0,5 L/min, 60 s); registrar lectura.
3. Ajustar span dentro de +/- 5 % del valor patron.
4. Aplicar aire limpio (60 s); verificar retorno a 0 ppm (+/- 2 ppm).
5. Repetir para CH<sub>4</sub> y O<sub>2</sub> en secuencia: CH<sub>4</sub> primero, O<sub>2</sub> despues, CO ultimo.
6. Documentar valores en el registro de mantenimiento de sensores de gases.

## 15.3 Parkings y espacios confinados

### 15.3.1 Detector de gases para parking: CO y NO<sub>2</sub> en ventilacion subterranea

Los parkings subterraneos acumulan emisiones de vehiculos en espacios de baja ventilacion. El detector de gases para parking debe monitorizar CO y NO<sub>2</sub>, activando la ventilacion forzada cuando el CO supere 50 ppm o el NO<sub>2</sub> alcance 3 ppm. La verificacion de sensores de gases en parkings emplea gas patron de CO al 50 ppm y NO<sub>2</sub> al 5 ppm, con caudal de 1,0 L/min durante 90 segundos cuando el transmisor de gases se ubica en sala de maquinas separada.

### 15.3.2 Calibracion de detectores de gases para espacios confinados segun OSHA 1910.146

La normativa OSHA 1910.146 exige certificacion de calibracion vigente antes de cada entrada a espacios confinados. La calibracion de detectores de gases para estos entornos abarca O<sub>2</sub>, gases combustibles y toxicos identificados en la evaluacion de riesgos. El registro se conserva por minimo un ano e incluye fecha, gases patron, concentraciones, resultados e identificacion del tecnico.

## 15.4 Industria quimica y petroquimica

### 15.4.1 Detector ATEX y calibracion en zonas clasificadas

La industria quimica opera en zonas con atmosfera explosiva, imponiendo el uso de un detector ATEX certificado segun la directiva 2014/34/UE. La calibracion de detectores de gases en zonas clasificadas exige que el equipo generador de calibracion cumpla la clasificacion ATEX correspondiente. Para zonas 1 y 2, el calibrador portatil requiere proteccion EEx ia IIC T4 minimo. La calibracion in situ mediante celda magnetica o conexion remota reduce la exposicion del personal en zona clasificada.

### **15.4.2 Calibracion de detectores de gases toxicos (H<sub>2</sub>S, HCN, Cl<sub>2</sub>) y explosivos**

La gama de tóxicos en plantas químicas exige sensores de alta selectividad. El H<sub>2</sub>S se calibra al 10 ppm y 20 ppm (VLA-ED: 10 ppm). El HCN requiere calibración al 4,7 ppm y 10 ppm. El cloro (Cl<sub>2</sub>), por su elevada peligrosidad, se ajusta con patrones al 0,5 ppm y 1 ppm. La calibración de sensores de gases de alta toxicidad es mensual; para combustibles, trimestral. En presencia de interferentes (siliconas, solventes clorados, compuestos sulfurados), la frecuencia pasa a quincenal.

Gas tóxico	VLA-ED (ppm)	Gas patrón (ppm)	Tiempo estabilización
H <sub>2</sub> S	10	10 / 20	60-90 s
HCN	4,7	4,7 / 10	60-90 s
Cl <sub>2</sub>	0,5	0,5 / 1	90-120 s
CO	35	35 / 100	45-60 s

La documentación del mantenimiento de sensores de gases en estas instalaciones constituye requisito legal del Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y el Real Decreto 374/2001, debiendo estar disponible para las autoridades competentes en materia de prevención de riesgos laborales.

## 16. Glosario de terminos

La correcta interpretacion de la terminologia tecnica resulta fundamental para la aplicacion rigurosa de los procedimientos descritos a lo largo de esta guia. El presente glosario recopila los terminos, abreviaturas y definiciones empleados en el ambito de la calibracion de sensores de gases y la verificacion de detectores de gases fijos, estableciendo una referencia comun para tecnicos de mantenimiento, responsables de PRL (Prevencion de Riesgos Laborales) e ingenieros de instrumentacion industrial.

### 16.1 Terminos tecnicos

#### 16.1.1 Defniciones fundamentales en la calibracion de sensores de gases

**Calibracion de sensores de gases:** Procedimiento metrologico mediante el cual se ajustan las lecturas de un sensor de gas industrial a valores de referencia conocidos, provenientes de gases de referencia certificados. La calibracion de detectores de gases abarca tanto el ajuste del punto cero como el ajuste de sensibilidad, garantizando que el equipo proporcione mediciones trazables y repetibles dentro de los limites de tolerancia especificados por el fabricante.

**Bump test:** Verificacion funcional rapida que consiste en exponer el sensor o detector a una concentracion conocida de gas patron para comprobar que la respuesta del instrumento se encuentra dentro de los limites aceptables. El bump test no constituye una calibracion completa, sino una comprobacion de funcionamiento previa al uso que confirma que el detector responde correctamente al gas objetivo.

**Zero calibration:** Ajuste del punto de referencia cero del sensor, realizado generalmente con aire fresco de calidad conocida o nitrogeno de alta pureza. Este procedimiento establece la linea base de lectura en ausencia del gas target, corrigiendo posibles desviaciones del punto cero causadas por la deriva del sensor o condiciones ambientales.

**Span calibration:** Ajuste de la sensibilidad del sensor mediante la aplicacion de un gas patron certificado a una concentracion definida, tipicamente entre el 50 % y el 80 % del rango de medicion. El span calibration establece la pendiente de la curva de respuesta del detector de gases fijo, asegurando la precision en todo el rango operativo.

**Gas patron:** Mezcla gaseosa de referencia con una concentracion certificada y documentada, empleada como estandar para la calibracion de detectores de gases. Las botellas de calibracion contienen gases de referencia cuya composicion quimica y concentracion han sido verificadas mediante analisis en laboratorio acreditado.

**Trazabilidad NIST:** Cadena documentada e ininterrumpida de comparaciones metrologicas que vincula el resultado de una medicion con los estandares nacionales mantenidos por el National Institute of Standards and Technology (NIST). La trazabilidad NIST exige que cada eslabon de la cadena — desde el sensor de gas industrial hasta el patron primario — cuente con registro documental de las comparaciones realizadas, incertidumbres asociadas y condiciones ambientales.

**Certificado de analisis (COA):** Documento emitido por el proveedor de gases de referencia que certifica la composicion quimica exacta de una botella de calibracion, incluyendo concentraciones de cada componente, incertidumbre expandida, fecha de analisis, numero de lote y periodo de validez. El COA constituye la evidencia documental fundamental para establecer la trazabilidad NIST del proceso de calibracion.

**Deriva:** Cambio gradual y sistematico en la respuesta de un sensor de gas industrial a lo largo del tiempo, independientemente de variaciones en la concentracion del gas medido. La deriva es el principal motivo por el

que los fabricantes exigen intervalos periodicos de calibracion de detectores de gases, ya que afecta tanto al punto cero como al span del equipo.

**T90:** Tiempo de respuesta de un sensor, definido como el intervalo transcurrido desde la exposicion al gas hasta que el instrumento alcanza el 90 % de la lectura final estable. El T90 constituye un parametro critico para evaluar la velocidad de deteccion en aplicaciones de seguridad industrial.

**LEL (Limite Inferior de Explosividad):** Concentracion minima de un gas o vapor combustible en el aire, expresada en porcentaje en volumen (%vol), capaz de propagar una llama en presencia de una fuente de ignicion. Los detectores ATEX miden concentraciones de gases combustibles como porcentaje del LEL para prevenir condiciones explosivas en atmosferas potencialmente peligrosas.

## 16.1 Tabla de terminos tecnicos

Termino	Definicion tecnica
Calibracion de sensores de gases	Ajuste metrologico de lecturas del sensor a valores de referencia conocidos provenientes de gases de referencia certificados
Bump test	Verificacion funcional rapida mediante exposicion a gas patron para confirmar respuesta del detector dentro de limites aceptables
Zero calibration	Ajuste del punto cero del sensor utilizando aire fresco o nitrogeno de alta pureza
Span calibration	Ajuste de sensibilidad del sensor mediante gas patron certificado al 50 % - 80 % del rango de medicion
Gas patron	Mezcla gaseosa de referencia con concentracion certificada empleada como estandar para calibracion
Botella de calibracion	Recipiente de almacenamiento que contiene gas patron bajo presion, con valvula de salida controlada
Trazabilidad NIST	Cadena documentada de comparaciones que vincula las mediciones con estandares nacionales del NIST
Certificado de analisis (COA)	Documento que certifica la composicion quimica, concentracion e incertidumbre del gas patron
Deriva	Cambio gradual de la respuesta del sensor con el tiempo, afectando punto cero y span
T90	Tiempo de respuesta hasta alcanzar el 90 % de la lectura final estable tras exposicion al gas
LEL	Limite Inferior de Explosividad; concentracion minima de gas combustible capaz de propagar combustion
Detector ATEX	Equipo de deteccion de gases disenado para operar de forma segura en atmosferas explosivas segun normativa europea
NDIR	Infrarrojo No Dispersivo; tecnologia de deteccion basada en la absorcion selectiva de radiacion infrarroja por moleculas de gas

## 16.2 Abreviaturas

### 16.2.1 *Tabla de abreviaturas y acronimos*

La nomenclatura empleada en la calibración de sensores de gases y la documentación técnica de detectores de gases fijos incluye numerosas abreviaturas derivadas de estándares internacionales, organismos de normalización y parámetros metroológicos. La tabla siguiente recoge las siglas más frecuentes en el ámbito de la instrumentación de seguridad industrial.

Abreviatura	Termino completo	Contexto de aplicacion
NIST	National Institute of Standards and Technology	Establece estandares de trazabilidad metrologica para gases de referencia
OSHA	Occupational Safety and Health Administration	Regulacion estadounidense sobre seguridad y salud en el trabajo
ISEA	International Safety Equipment Association	Asociacion que desarrolla protocolos de calibracion para equipos de proteccion
ISO	International Organization for Standardization	Emite normas de calidad y gestion de procesos metrologicos
COA	Certificate of Analysis	Documento que certifica la composicion del gas patron en la botella de calibracion
LPM	Litros Por Minuto	Unidad de caudal empleada en procedimientos de zero calibration y span calibration
LEL	Lower Explosive Limit (Limite Inferior de Explosividad)	Referencia para medicion de gases combustibles en detectores ATEX
ATEX	Atmospheres Explosibles	Directiva europea 2014/34/UE sobre equipos en atmosferas explosivas
NDIR	Non-Dispersive Infrared (Infrarrojo No Dispersivo)	Tecnologia de deteccion de gases por absorcion infrarroja
PRL	Prevencion de Riesgos Laborales	Marco regulatorio espanol para la proteccion de trabajadores expuestos a riesgos quimicos
T90	Tiempo al 90 % de respuesta	Parametro que cuantifica la velocidad de respuesta del sensor de gas industrial
ppm	Partes Por Millon	Unidad de concentracion empleada para gases toxicos en bajas concentraciones
%vol	Porcentaje en volumen	Unidad de concentracion para gases en altas proporciones (oxigeno, gases combustibles)