



# **Seguridad en Laboratorios que Manejan Hidrógeno y Gases Inflamables: Principales Propiedades, Clasificación de Áreas y Sistemas de Seguridad Integral**

## **Safety in Laboratories Handling Hydrogen and Flammable Gases: Major Properties, Area Classification and Integrated Safety Systems**

Carlos José Pabón Hernández<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas, Parque Tecnológico UIS Guatiguará, km 2 vía El Refugio, Piedecuesta, Colombia.

\* Correo electrónico: [carlos.josepabon.hernandez@gmail.com](mailto:carlos.josepabon.hernandez@gmail.com)

## Resumen

El manejo de hidrógeno y otros gases inflamables en entornos de laboratorio presenta desafíos únicos debido a ciertas propiedades físicas y químicas, especialmente en el caso del hidrógeno, caracterizado por un amplio rango de inflamabilidad, baja energía de ignición y elevada difusividad. Este artículo examina las propiedades del hidrógeno que inciden en la seguridad en el laboratorio y analiza las normativas NFPA 70 e IEC 60079 para la clasificación de áreas peligrosas. Asimismo, se describen las consideraciones clave para la selección de equipos y sensores adecuados, con el fin de minimizar los riesgos de ignición en función de la clasificación de áreas. Además, se detallan recomendaciones para configurar un enfoque integral de seguridad, incluyendo el uso de controles centralizados, redes de sensores, sistemas de ventilación y alarmas que permitan detectar y responder a condiciones peligrosas de manera automática. El artículo concluye subrayando la necesidad de un enfoque integral que abarque tanto medidas técnicas como procedimientos operativos, a fin de garantizar la seguridad en laboratorios donde se manipulan hidrógeno y otros gases inflamables.

## Abstract

Handling hydrogen and other flammable gases in laboratory environments presents unique challenges due to certain physical and chemical properties, especially in the case of hydrogen, which is characterized by a wide flammability range, low ignition energy and high diffusivity. This article examines the properties of hydrogen that impact safety in the laboratory and discusses NFPA 70 and IEC 60079 standards for hazardous area classification. Key considerations for selecting appropriate equipment and sensors to minimize ignition hazards based on area classification are described. In addition, recommendations are detailed for configuring a comprehensive safety approach, including the use of centralized controls, sensor networks, ventilation systems and alarms to automatically detect and respond to hazardous conditions. The article concludes by stressing the need for a holistic approach that encompasses both technical measures and operational procedures to ensure safety in laboratories where hydrogen and other flammable gases are handled.

## Palabras clave

Hidrógeno, Seguridad en laboratorios, Gases inflamables, Clasificación de áreas, Sistemas integrados de seguridad.

## Introducción

El hidrógeno se ha convertido en un elemento clave en diversas aplicaciones industriales y en múltiples líneas de investigación, gracias a su potencial como vector energético, siempre y cuando se produzca a partir de fuentes bajas en carbono. Sin embargo, su manipulación presenta desafíos significativos en términos de seguridad, especialmente en entornos de laboratorio donde se realizan experimentos y procesos a pequeña escala, pero con riesgos potencialmente altos. Las propiedades únicas del hidrógeno, como su bajo límite inferior de inflamabilidad, energía mínima de ignición extremadamente baja y alta capacidad de difusión, requieren una comprensión profunda y medidas de seguridad específicas [1]. La seguridad en laboratorios que manejan hidrógeno y otros gases inflamables no solo depende de la implementación de equipos de protección, sino también de una correcta clasificación de áreas según normativas reconocidas internacionalmente, como la NFPA 70 (National Electrical Code) y la serie IEC 60079 (Explosive Atmospheres). Estas normativas proporcionan guías para identificar zonas de riesgo y seleccionar los equipos y sistemas adecuados para prevenir accidentes [2][3]. Este artículo tiene como objetivo proporcionar una visión integral de los aspectos críticos relacionados con la seguridad en laboratorios que manipulan hidrógeno y gases inflamables. Se abordarán las propiedades fundamentales del hidrógeno que afectan la seguridad, los fundamentos de la clasificación de áreas peligrosas, los requerimientos de equipos según dicha clasificación y la implementación de sistemas integrados de seguridad en el laboratorio. Al final, se espera que el lector comprenda la importancia de un enfoque holístico que combine medidas técnicas y operativas

para garantizar un entorno seguro en el manejo de estos gases.

## Metodología

### 1. Principales Propiedades del Hidrógeno para la Seguridad en el Laboratorio

El hidrógeno es un gas con propiedades físicas y químicas únicas que requieren especial atención en términos de seguridad en el laboratorio. Las propiedades clave del hidrógeno son [1]:

- **Límite Inferior de Inflamabilidad (LFL) y Límite Superior de Inflamabilidad (UFL):**

El hidrógeno es inflamable en concentraciones en aire que van desde el 4% (LFL) hasta el 75% (UFL) en volumen. Esto indica que puede formar mezclas explosivas en diversas condiciones. No obstante, que una fuga genere una atmósfera peligrosa depende de múltiples factores, como la ventilación, la geometría del espacio o la presencia de fuentes de ignición. Por ello, es fundamental contar con sistemas de detección de fugas y una ventilación eficaz en los espacios donde se manipule hidrógeno [1].

- **Energía Mínima de Ignición (EMI):**

El hidrógeno requiere únicamente 0,017 mJ de energía para encenderse, un valor considerablemente menor que el de otros gases inflamables comunes. Esta característica lo hace susceptible a fuentes de ignición poco evidentes, como las descargas electrostáticas. Por ello, resulta esencial identificar y reducir posibles fuentes de ignición en zonas donde se utilice hidrógeno [1].

- **Alta Difusividad y Baja Densidad:**

Como el hidrógeno es mucho más ligero que el aire, tiende a ascender rápidamente y se dispersa con facilidad.

Esto puede dificultar la detección de fugas y hace que se acumule en espacios altos, lo cual tiene implicaciones importantes para el diseño de los sistemas de ventilación y la ubicación de sensores en puntos elevados [1].

- **Poder Calorífico Inferior (LHV):**

Cuando el hidrógeno se quema, libera una gran cantidad de energía, aproximadamente 119,9 MJ/kg, lo cual puede causar daños serios. Esto destaca la necesidad de tener medidas de prevención robustas y sistemas de mitigación para reducir los impactos de una posible ignición [1].

- **Temperatura de Autoignición:**

El hidrógeno puede hacer autoignición a aproximadamente 520 °C, una temperatura más baja que la de otros gases inflamables. Esto aumenta el riesgo en entornos donde pueden generarse altas temperaturas, y hace esencial utilizar materiales y equipos adecuados para estas condiciones [1].

## 2. Fundamentos de Clasificación de Áreas según la NFPA 70 y IEC 60079

En los laboratorios que manejan gases inflamables, como el hidrógeno, clasificar correctamente las áreas peligrosas es clave para implementar medidas de seguridad adecuadas. La NFPA 70 y la IEC 60079 ofrecen sistemas de clasificación que ayudan a identificar los tipos de materiales inflamables y el nivel de riesgo, facilitando la selección de equipos de protección y el establecimiento de medidas de control aptas para cada área de riesgo. Aunque ambas normas utilizan enfoques y nomenclaturas ligeramente diferentes (Clases y Divisiones/Zonas en la NFPA 70, frente a

Grupos y Zonas en la IEC 60079), se pueden correlacionar para alinear los requisitos de seguridad en instalaciones donde existen atmósferas explosivas [3][4].

### NFPA 70 (Código Eléctrico Nacional)

La NFPA 70, también conocida como el Código Eléctrico Nacional (NEC), es una normativa desarrollada por la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA) en los Estados Unidos [3]. Establece los requisitos para la instalación segura de sistemas eléctricos en ambientes con atmósferas peligrosas. La NFPA 70 proporciona guías para clasificar áreas peligrosas en función de la probabilidad y duración de presencia de atmósferas explosivas, permitiendo así la selección de equipos eléctricos y sistemas de seguridad adecuados para cada tipo de ambiente [3].

De acuerdo con la NFPA 70, los lugares peligrosos se clasifican según las propiedades de las sustancias presentes, tales como: gases inflamables, vapores inflamables generados por líquidos, vapores combustibles generados por líquidos, polvos combustibles, fibras/partículas combustibles. En este contexto, la Clase I que es la que se va a revisar se refiere a áreas en las que pueden existir gases o vapores en el aire en concentraciones que podrían dar lugar a atmósferas explosivas. Esta clasificación se aplica a áreas de superficie (excluyendo la minería subterránea) y se organiza en Divisiones o Zonas, considerando tanto la probabilidad como la frecuencia de la presencia de cantidades o concentraciones inflamables o combustibles. Para determinar la clasificación, cada cuarto, sección o área debe evaluarse de manera individual. Además, se asigna un grupo

de riesgo específico a cada gas, y aquellos lugares en los que únicamente se manipulan materiales pirofóricos quedan fuera del alcance de este artículo. Esta clasificación es especialmente relevante en laboratorios que manejan hidrógeno, ya que el hidrógeno se dispersa rápidamente y es altamente inflamable, lo que puede facilitar la formación de atmósferas explosivas bajo determinadas condiciones.

- **División 1:** áreas donde se espera que una atmósfera explosiva esté presente en condiciones normales de operación o con frecuencia. Esto significa que el equipo y los sistemas en esta área deben estar diseñados para soportar la posibilidad de una atmósfera explosiva de manera continua.
  - *Ejemplo en un laboratorio:* zonas de almacenamiento de hidrógeno o puntos de conexión donde este gas se maneja regularmente.
- **División 2:** áreas que presentan un riesgo menor, ya que la atmósfera explosiva es improbable en condiciones normales y solo se formaría en caso de una falla o emergencia.
  - *Ejemplo en un laboratorio:* áreas adyacentes a los puntos de almacenamiento de hidrógeno, donde el gas solo se liberaría en situaciones de emergencia.

Además de las divisiones, la NFPA 70 adopta un sistema de Zonas (0, 1 y 2) para clasificar áreas según la probabilidad y duración de la presencia de atmósferas explosivas [3]:

- **Zona 0:** área donde una atmósfera explosiva de gas está presente de manera continua o durante largos

períodos. En laboratorios de hidrógeno, esto podría incluir cámaras selladas donde el hidrógeno esté en contacto constante con el aire.

- Ejemplo en un laboratorio: cámaras de pruebas con hidrógeno que están completamente confinadas.
- **Zona 1:** área donde una atmósfera explosiva es probable en condiciones normales de operación, aunque no de forma continua.
  - Ejemplo en un laboratorio: áreas cercanas a válvulas y puntos de conexión de hidrógeno, donde el gas se libera de forma intermitente.
- **Zona 2:** área donde una atmósfera explosiva es improbable en condiciones normales de operación, pero puede formarse en caso de fallos o emergencias.
  - Ejemplo en un laboratorio: áreas cercanas a zonas de riesgo, donde solo una falla permitiría la liberación de gas.

Esta clasificación en zonas permite adaptar el nivel de seguridad al riesgo de cada área: Zona 0 para presencia continua de gases inflamables, Zona 1 para una presencia frecuente pero no constante, y Zona 2 para una presencia improbable que solo podría ocurrir en emergencias [3].

Dentro de la Clase I, la NFPA 70 clasifica los gases y vapores inflamables en cuatro grupos (A, B, C y D) con base en sus características de ignición y explosividad, particularmente el valor de separación de seguridad experimental (MESG) y la relación de corriente de ignición mínima (MIC). El objetivo de esta clasificación es identificar el nivel de protección requerido por los equipos

y sistemas instalados en áreas peligrosas [3].

- **Grupo A (acetileno):** se caracteriza por una gran facilidad de ignición y un alto riesgo de explosión, dada su muy baja MESG. Por su alta peligrosidad, requiere medidas de seguridad extremadamente rigurosas [3].
- **Grupo B (hidrógeno):** presenta valores de MESG muy bajos ( $\leq 0,45$  mm) o una relación MIC muy reducida ( $\leq 0,40$ ), lo que implica alta susceptibilidad a la ignición [3].
- **Grupo C (etileno):** posee valores de MESG y MIC intermedios (MESG entre  $>0,45$  mm y  $\leq 0,75$  mm; MIC entre  $>0,40$  y  $\leq 0,80$ ) [3].
- **Grupo D (propano):** tienen valores de MESG relativamente más altos ( $>0,75$  mm) o una relación MIC mayor a 0,80, indicando un menor riesgo comparativo de explosión [3].

### IEC 60079 (Atmósferas Explosivas)

La IEC 60079, desarrollada por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), es una serie de normas internacionales que establece los

requisitos de seguridad para equipos y sistemas utilizados en atmósferas explosivas [4]. Su enfoque está en clasificar y diseñar equipos para minimizar los riesgos de explosión en entornos donde pueden estar presentes gases, vapores, polvos o fibras combustibles.

En el contexto de laboratorios que manejan gases inflamables como el hidrógeno, la IEC 60079 organiza las áreas peligrosas en el Grupo II, que se aplica a áreas de superficie con gases y vapores inflamables [4]. Dentro del Grupo II, la IEC utiliza subgrupos para clasificar los gases en función de su facilidad de ignición y el riesgo de explosión:

- **IIA:** gases menos explosivos, como el propano, que requieren mayor energía para encenderse.
- **IIB:** gases de riesgo intermedio, como el etileno, que necesitan protecciones adicionales.
- **IIC:** gases altamente explosivos y fáciles de encender, como el hidrógeno y el acetileno.

Además, la IEC 60079 clasifica las áreas de riesgo en Zonas (0, 1 y 2), que describen la probabilidad y duración de

**Tabla 1.** Correspondencia entre la Clasificación NFPA 70 e IEC 60079

NFPA 70	IEC 60079	Descripción
División 1	Zona 0/1	Presencia continua o frecuente de atmósferas explosivas.
División 2	Zona 2	Presencia poco probable de atmósferas explosivas en condiciones normales.
Grupos A, B, C, D	Subgrupos IIC, IIB, IIA	Clasificación basada en características de ignición y explosividad del gas o vapor.

la presencia de atmósferas explosivas siguiendo la clasificación explicada en la sección anterior para las Zonas 0, 1 y 2 [4].

### **Equivalencias entre NFPA 70 e IEC 60079**

Aunque la NFPA 70 (EE.UU.) y la IEC 60079 (internacional) usan metodologías de clasificación basadas en la naturaleza y frecuencia de atmósferas explosivas, existen correspondencias aproximadas entre sus sistemas, tal como se muestra en la Tabla 1.

Estas correspondencias permiten al personal técnico adaptar los requerimientos de un estándar a otro, teniendo en cuenta, eso sí, que existen matices y diferencias específicas en cuanto a la terminología y las pruebas de validación para los equipos.

### **3. Requerimientos de Equipos por Clasificación**

En laboratorios que manejan gases inflamables, la selección de equipos adecuados es fundamental para garantizar la seguridad y mitigar los riesgos de explosión. Los sistemas de clasificación de áreas, brindados por la NFPA 70 y complementados con las normas internacionales IEC 60079, establecen criterios esenciales para la selección e instalación de equipos eléctricos y sistemas de detección según los niveles de riesgo en cada zona [3][4].

#### **Equipos Eléctricos**

Para minimizar el riesgo de ignición en áreas peligrosas, se requiere que todos los dispositivos eléctricos, como

interruptores, luces y motores, cumplan con estándares de seguridad específicos. La NFPA 70 clasifica estos equipos en dos tipos principales: a prueba de explosiones y de seguridad intrínseca [3]. Los equipos a prueba de explosiones están diseñados para contener cualquier explosión interna sin permitir que se propague al ambiente externo, lo que es crucial en ambientes donde una chispa podría detonar gases inflamables. Por otro lado, los equipos de seguridad intrínseca están limitados en potencia y energía, de modo que incluso en caso de fallo, no pueden producir una chispa o temperatura suficiente para causar una explosión [3][4].

Según la clasificación de la IEC 60079, el tipo de protección intrínsecamente segura requerido varía en función de la probabilidad y duración de la presencia de una atmósfera explosiva. En este estándar, se emplean las denominaciones "ia", "ib" e "ic" para describir el nivel de seguridad de los equipos eléctricos en zonas con distinto grado de riesgo. Un elemento clave en esta clasificación es el concepto de falla contable (*countable fault*), que se refiere a aquellos fallos individuales en un componente o parte del circuito que se pueden identificar y cuantificar, y que ponen a prueba la capacidad del sistema para impedir una ignición [4].

- **Zona 0: equipos de tipo "ia"**

- Requiere nivel máximo de seguridad, porque la atmósfera explosiva está presente en condiciones normales de operación de forma continua o prolongada.
- Estos equipos deben poder tolerar hasta dos fallas contables sin originar una fuente de ignición.

- Por su alto nivel de protección, pueden emplearse también en Zonas 1 y 2.

- **Zona 1: equipos de tipo "ib"**

- Indicados para atmósferas explosivas que son probables en condiciones normales, aunque no permanentes.
- Deben soportar una falla contable sin perder la condición de seguridad.
- Son de nivel intermedio de protección, aptos para Zonas 1 y 2.

- **Zona 2: equipos de tipo "ic"**

- Se aplican donde la atmósfera explosiva es poco probable en condiciones normales y solo podría formarse en caso de emergencia.
- Generalmente, no se contemplan fallas contables (o bien se admite un nivel más básico de tolerancia a fallas), ya que la probabilidad de presencia de gas es muy baja.
- Son de nivel mínimo de protección, suficiente en Zonas 2 con riesgo reducido.

Mediante esta clasificación, se seleccionan los equipos de acuerdo con la probabilidad de que exista una atmósfera explosiva y la capacidad del sistema para manejar las fallas que pudieran presentarse.

## Sensores y Detectores

La detección precisa de una fuga o falla es esencial en áreas clasificadas, y los sensores utilizados deben ser adecuados tanto para el tipo de gas como para la clasificación de riesgo. La NFPA 70 recomienda la instalación de

sensores de detección continua en puntos críticos, como techos y áreas confinadas, donde el gas pueda acumularse y alcanzar niveles peligrosos [3]. Por otro lado, la IEC 60079-29-1 establece que los sensores deben cumplir con un grado de sensibilidad adecuado y rápida capacidad de respuesta para detectar concentraciones de gas que se aproximen al límite inferior de inflamabilidad (LFL), para una protección rápida y efectiva [5].

Entre los tipos de sensores recomendados se incluyen:

- **Sensores catalíticos:** estos sensores son adecuados para detectar mezclas de gas que incluyen hidrógeno y metano. Funcionan mediante el principio de combustión catalítica, por lo que son efectivos en la detección de concentraciones de gas peligrosas en entornos industriales [2][5].
- **Sensores electroquímicos:** funcionan a través de reacciones químicas controladas y son útiles en áreas de alta seguridad debido a su sensibilidad y capacidad de monitoreo constante, lo cual es importante en ambientes donde la acumulación de gas puede ocurrir sin previo aviso [2][5].

## Protección Adicional y Medidas de Seguridad

Además de los equipos eléctricos y sensores específicos, las normativas enfatizan la necesidad de medidas de protección adicionales en entornos donde se manejan gases inflamables. La IEC 60079-29-2, por ejemplo, establece pautas para el diseño de sistemas de alarma que alerten al personal en caso de concentraciones peligrosas de gas



[6]. Además, se recomienda la implementación de ventilación mecánica para reducir la acumulación de gases en áreas críticas, minimizando así los riesgos de explosión [6].

Estas normativas también subrayan la importancia de realizar mantenimientos preventivos regulares y calibraciones de los sensores para asegurar un funcionamiento óptimo y evitar falsos positivos o negativos en la detección de gases inflamables [6]. En ambientes de alta seguridad, es recomendable llevar a cabo auditorías de seguridad periódicas para verificar la correcta instalación y funcionamiento de los sistemas de detección y alarmas, así como para asegurar la integridad de los equipos eléctricos [3][6].

#### 4. Sistema de Seguridad Integral en el Laboratorio

La implementación de un sistema de seguridad integral en laboratorios que manejan gases inflamables como el hidrógeno y el metano es vital para garantizar la seguridad del personal y la integridad de la infraestructura. Este sistema integra diferentes componentes de monitoreo y control que trabajan en conjunto para prevenir y mitigar los riesgos asociados con la manipulación de gases. Al centralizar la supervisión y las respuestas automáticas, se permite una vigilancia constante, lo cual es esencial en entornos con atmósferas explosivas potenciales [1-4].

Una breve introducción de un sistema de seguridad integrado es que está diseñado para reunir y analizar información de diversas fuentes, como sensores de gas, temperatura y flujo, y activar respuestas automáticas en caso de una emergencia. Este enfoque coordinado permite monitorear

constantemente las condiciones del laboratorio y tomar acciones inmediatas para prevenir situaciones peligrosas. Los componentes básicos del sistema incluyen un sistema de control centralizado, que puede incluir controladores lógicos programables (PLCs), sistemas de control distribuido (DCS) o controladores basados en computadoras industriales modernas; sensores especializados; sistemas de ventilación; y alarmas. Cada uno de estos elementos desempeña un rol clave en la detección temprana y la mitigación de riesgos [1].

#### Control Centralizado y Monitoreo

El sistema de control centralizado es el núcleo del sistema de seguridad, actuando como el "cerebro" encargado de procesar las señales de los sensores y ejecutar acciones según los parámetros preestablecidos. Este sistema puede incluir diferentes componentes, entre los que se encuentran los siguientes:

- **Controladores Lógicos Programables (PLC):** dispositivos robustos que procesan señales de sensores y ejecutan acciones automáticas.
- **Sistemas de Control Distribuido (DCS):** utilizados en instalaciones más grandes, permiten una gestión más distribuida y escalable de los procesos.
- **Controladores Basados en Computadoras Industriales:** soluciones más modernas que integran capacidades avanzadas de procesamiento, conectividad y análisis de datos, a menudo incorporando funcionalidades de IoT (Internet de las Cosas).

Cada uno de estos controladores (PLC, DCS o computadoras industriales)

recibe información en tiempo real de los sensores de gas, temperatura y flujo, y la utiliza para tomar decisiones automáticas, tales como activar alarmas, ajustar la ventilación o detener el flujo de gas en caso de fuga. Este nivel de automatización asegura que cualquier cambio en las condiciones ambientales sea respondido de manera inmediata, reduciendo la dependencia del factor humano en situaciones críticas [2-4].

Además, el sistema centralizado registra y almacena datos relevantes para permitir un análisis posterior de los eventos y garantizar el cumplimiento de las normativas de seguridad. La centralización de las operaciones en un solo sistema permite una mayor eficiencia y control de los protocolos de seguridad en el laboratorio [1][3].

## Redes de Sensores para la Detección de Fugas

Las redes de sensores constituyen el primer nivel de defensa contra fugas de gas. Su función principal es detectar la presencia de gases inflamables en el ambiente y activar sistemas de alerta o mitigación cuando se alcanzan niveles peligrosos.

## Ubicación Estratégica de Sensores

De acuerdo con la IEC 60079-29-2 [6], se recomienda ubicar los sensores considerando varios factores:

- **Densidad del gas:**
  - Gases más ligeros que el aire (por ejemplo, hidrógeno, amoníaco): instalar los sensores en techos o zonas elevadas.
  - Gases más pesados que el aire (propano, butano): colocar los

sensores cerca del suelo o en áreas donde puedan acumularse.

- **Proximidad a fuentes de fuga:** ubicar sensores en puntos críticos, como válvulas, uniones de tuberías y tanques [2].
- **Efecto de la ventilación:** en caso de ventilación forzada, posicionar los sensores en las rutas del flujo de aire para detectar el gas antes de su posible dilución [2,5].

## Sistemas de Ventilación en la Seguridad Contra Fugas de Gas

La ventilación resulta fundamental para dispersar rápidamente las acumulaciones de gas e impedir que se alcancen concentraciones inflamables.

## Tipos de Ventilación

- **Ventilación natural:** basada en aberturas y corrientes de aire naturales de la estructura.
- **Ventilación mecánica:** emplea extractores y sistemas de ventilación controlada para forzar el movimiento del aire.

La automatización de la ventilación mecánica permite que el sistema responda de inmediato a las lecturas de los sensores. Por ejemplo, si se detecta una concentración elevada de hidrógeno, el sistema incrementará automáticamente el flujo de aire para dispersar el gas y reducir su concentración [3][4]. Además, los sistemas de ventilación deben contar con redundancia para asegurar su funcionamiento continuo, incluso en caso de fallos. Esta redundancia garantiza que el laboratorio mantenga un entorno seguro en todo momento [4][6].

## Integración de Alarmas y Señalización

Para garantizar una respuesta rápida y efectiva ante cualquier incidente, el sistema integrado incluye alarmas visuales y sonoras que alertan al personal sobre condiciones peligrosas.

- **Alarmas sonoras:** empleadas para alertar de inmediato sobre una emergencia, permitiendo una evacuación rápida si es necesario.
- **Señalización visual:** indicadores luminosos que muestran el estado del sistema y las áreas de riesgo, facilitando la identificación de zonas afectadas.

Estas alarmas están diseñadas para ser claramente perceptibles incluso en entornos ruidosos o con poca visibilidad, asegurando que el personal pueda reaccionar rápidamente ante una situación de peligro [3].

## Automatización de Respuestas de Seguridad

El manejo seguro de hidrógeno requiere no solo la detección temprana de fugas o riesgos de combustión, sino también la implementación de acciones preventivas y correctivas de manera automatizada. En este contexto, la Figura 1 muestra el diagrama de flujo que describe las etapas principales de un sistema integrado de seguridad: desde la solicitud de datos a los nodos sensores hasta la activación de alarmas, cierre de válvulas, ventilación forzada y, en caso de ser necesario, extinción de incendios.

Este diagrama se fundamenta en umbrales establecidos por las normativas de seguridad aplicables, de modo que ante valores peligrosos de concentración de gas o la detección de

combustión, el sistema ejecute protocolos de emergencia sin requerir la intervención humana. Así, se reducen de forma significativa los riesgos para los operadores y se minimiza la posibilidad de accidentes mayores.

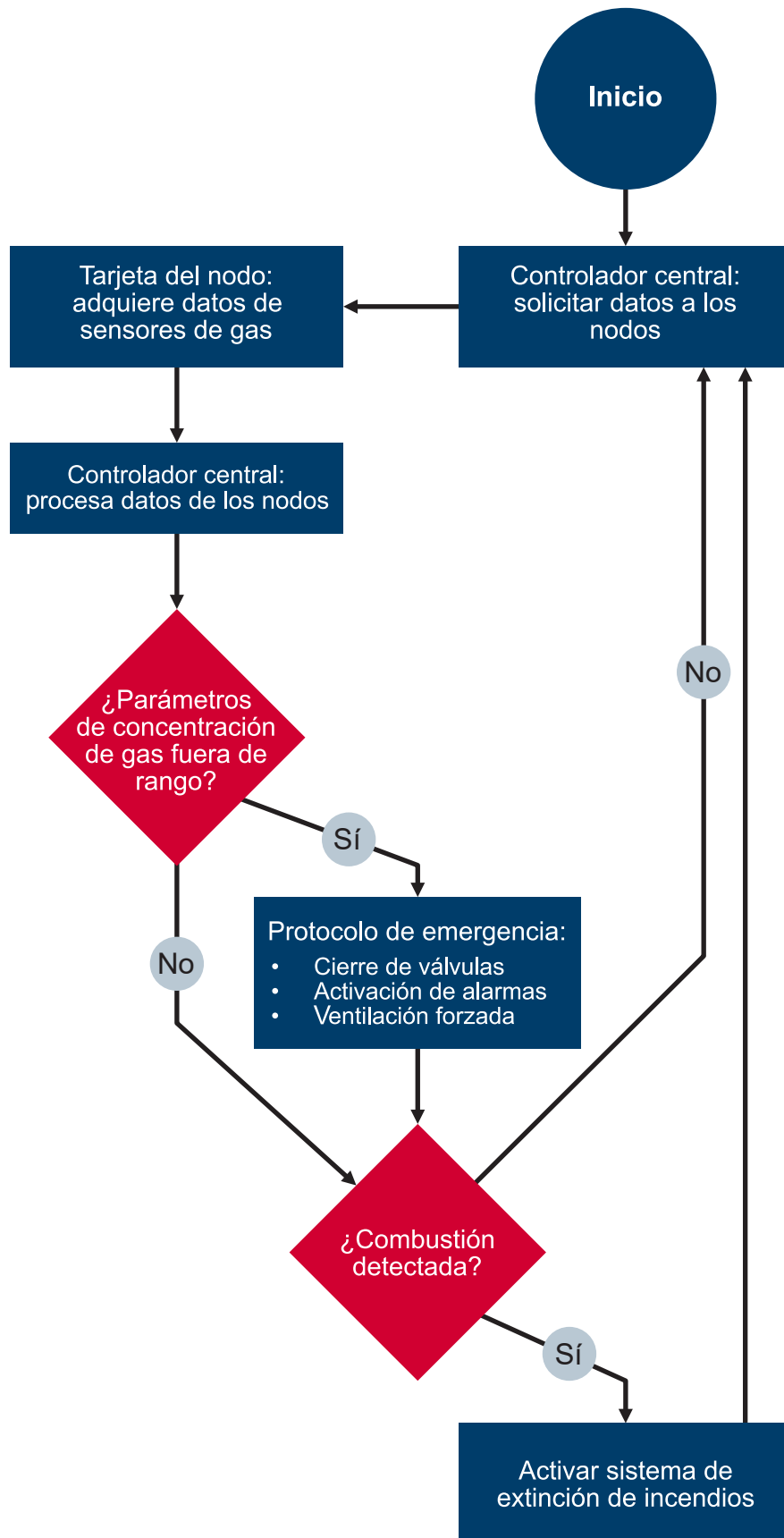
En la fase de detección, el controlador central solicita datos a los nodos equipados con sensores de gas para identificar concentraciones fuera de los valores admitidos. Si esos valores superan los umbrales de seguridad, se activa de inmediato el protocolo de emergencia que incluye el cierre de válvulas, la activación de alarmas y la ventilación forzada. Asimismo, si se detecta combustión, el sistema dispone de mecanismos adicionales para la extinción de incendios, adecuados para gases inflamables.

Este proceso automatizado y cíclico permite una respuesta ágil y eficaz ante cualquier eventualidad, contribuyendo de forma decisiva a la protección de las instalaciones y a la seguridad de las personas.

## Mantenimiento y Actualización del Sistema Integrado

Un sistema de seguridad integrado requiere un mantenimiento regular para asegurar su funcionamiento óptimo y la actualización de componentes conforme evolucionan las normativas y tecnologías.

- **Pruebas periódicas:** es esencial realizar pruebas regulares de todos los componentes del sistema, incluyendo sensores, alarmas y sistemas de ventilación, para verificar su operatividad y detectar posibles fallos [2][5].
- **Calibración de sensores:** los sensores de gas y temperatura deben calibrarse periódicamente para mantener su precisión y



**Figura 1.** Diagrama de flujo para la automatización de respuestas de seguridad en un sistema de detección y control.

sensibilidad, garantizando una detección fiable de condiciones peligrosas [2][5].

- **Actualizaciones tecnológicas:** mantener el software y hardware del sistema de control centralizado actualizado permite incorporar mejoras en seguridad, funcionalidad y cumplimiento normativo [1][3].
- **Registro y documentación:** mantener registros detallados de mantenimiento, calibraciones y actualizaciones es fundamental para cumplir con las regulaciones y facilitar auditorías de seguridad [3][4].

## Conclusiones

La manipulación segura de hidrógeno y gases inflamables en entornos de laboratorio requiere una comprensión profunda de sus propiedades y la implementación de medidas de seguridad basadas en normativas reconocidas. La correcta clasificación de áreas peligrosas es esencial para seleccionar equipos eléctricos y sistemas de detección adecuados que minimicen los riesgos de ignición y explosión.

La integración de sistemas de seguridad que combinan control centralizado, redes de sensores y automatización de respuestas es fundamental para monitorear y reaccionar de manera efectiva ante situaciones peligrosas. Además, el mantenimiento regular y la actualización de estos sistemas garantizan su eficacia continua.

Un enfoque holístico que incluya tanto medidas técnicas como operativas, junto con una cultura de seguridad entre el personal, es indispensable para garantizar un entorno seguro en laboratorios que manejan hidrógeno y gases inflamables. La adopción de las

mejores prácticas y el cumplimiento de las normativas internacionales contribuyen significativamente a la prevención de accidentes y a la protección de las personas y las instalaciones.

## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, con recursos del Patrimonio Autónomo Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, Francisco José de Caldas, y hace parte de la ejecución del programa "Manejo integral del hidrógeno en mezcla con gas natural como medio para facilitar la transición energética hacia energías renovables", co-ejecutado por el CDT de Gas, la Corporación para la Investigación de la Corrosión, la Universidad Pontificia Bolivariana sede Bucaramanga, la Fundación Universitaria de San Gil (Unisangil) y Promigas S.A. E.S.P.

## Referencias

- [1] Kotchourko A., Jordan T. 2022. Hydrogen Safety for Energy Applications: Engineering Design, Risk Assessment, and Codes and Standards. Academic Press.
- [2] Alegret S., del Valle M., Merkoçi A. 2004. Sensores Electroquímicos: Introducción a los Quimiosensores y Biosensores: Curso Teórico-Práctico. Universitat Autònoma de Barcelona.
- [3] National Fire Protection Association (NFPA). 2014. National Electrical Code (NEC) NFPA 70. Quincy, MA.

- [4] International Electrotechnical Commission (IEC). 2007. IEC 60079-0 - Explosive Atmospheres - Part 0: Equipment - General Requirements. Ginebra, Suiza.
- [5] International Electrotechnical Commission (IEC). 2007. IEC 60079-29-1 - Explosive Atmospheres - Part 29-1: Gas Detectors - Performance Requirements of Detectors for Flammable Gases. Ginebra, Suiza.
- [6] International Electrotechnical Commission (IEC). 2007. IEC 60079-29-2 - Explosive Atmospheres - Part 29-2: Gas Detectors - Selection, Installation, Use and Maintenance of Detectors for Flammable Gases and Oxygen. Ginebra, Suiza.
- [7] National Fire Protection Association NFPA. 2020. NFPA 2: Hydrogen technologies code. Quincy, MA.