



Instituto Nacional de
Metrología de Colombia

Hidrógeno

Realidad y retos desde la Metrología



INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA

María del Rosario González Márquez

Directora General

José Álvaro Bermúdez Aguilar

Secretario General

Laura Lorena Rivera Roa

Jefe de Oficina Asesora de Planeación

Edna Julieth Villarraga Farfán

Subdirectora de Metrología Química y Biología

Jairo Gustavo Ayala Forero

Subdirector de Metrología Física

Alexandra Hernández Moreno

Subdirectora de Servicios Metrológicos y Atención al Ciudadano

Redacción y edición

[Mayckol Morales Castro](#)

[Carlos Camargo Moreno](#)

[Edna Julieth Villarraga Farfán](#)

[Jairo Gustavo Ayala Forero](#)

[Daniela Alvarez Vargas](#)

[Alexandra Hernández Moreno](#)

Diseño y diagramación

[Valentina Ospina Rodríguez](#)

Para mayor información, contacte a:

Instituto Nacional de Metrología

Av. Cra. 50 No. 26 – 55 Int. 2 CAN

Bogotá D.C – Colombia

Tel: +57 1 254 22 22

www.inm.gov.co

2025



Tabla de **contenido**

Introducción 4

1.

La metrología en la cadena de valor
en el hidrógeno de bajas emisiones 6

2.

Capacidades metrológicas del
Instituto Nacional de Metrología
para el hidrógeno de bajas
emisiones y sus usos 9

3.

Desarrollos del INM en la cadena
de valor del hidrógeno de bajas
emisiones 11

Conclusiones 12

Anexos 12

Referencias 13

En Colombia, el desarrollo del hidrógeno de bajas emisiones se encuentra respaldado por un sólido marco legal compuesto por políticas públicas y documentos normativos. Entre los instrumentos más destacados figura (i) La Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia, (ii) el apoyo de organizaciones como Icontec que ha adelantado la adopción de 37 documentos normativos orientados a regular y consolidar la cadena de valor del hidrógeno de bajas emisiones, lo cual refleja el avance del país en la armonización normativa con estándares internacionales y (iii) La regulación colombiana con el decreto 1597 de 2024 donde enfatiza la importancia de la infraestructura de la calidad y la importancia de ONAC, para avalar la emisión de los certificados de origen producidos en el país, lo que garantiza que los laboratorios que realizan mediciones y análisis del hidrógeno operen bajo estándares reconocidos internacionalmente, asegurando resultados técnicamente válidos y comparables.

Este marco evidencia el papel estratégico de los diferentes actores de la infraestructura nacional de la calidad, en el que la metrología cumple una función fundamental. La metrología asegura la trazabilidad,

exactitud y confiabilidad de las mediciones en todas las etapas del ciclo del hidrógeno, desde su producción hasta su comercialización, lo que permite cumplir con los estándares técnicos requeridos, facilitar el comercio, proteger a los consumidores y garantizar la seguridad operativa en el uso de este vector energético emergente.

El INM, como autoridad metrológica de Colombia, es responsable de liderar el cierre de las brechas en medición y calibración, mediante el desarrollo de capacidades que le permitan contar con patrones nacionales, para diseminar la trazabilidad de las mediciones en el país. Esto permitirá certificar internacionalmente que el hidrógeno colombiano cumple los estándares definidos lo que facilitará su aceptación en los mercados mundiales.

Además, es importante mencionar que países como Alemania ya cuentan con Reglamentos Técnicos específicos para el hidrógeno; adicionalmente, desde la formulación de su estrategia nacional en 2020, incluyeron explícitamente a la metrología y la necesidad de contar con métodos de medición científicos reconocidos internacionalmente, así como, con estándares técnicos con este mismo tipo de reconocimiento, lo que demuestra el nivel de madurez y compromiso con la participación de la Infraestructura de la Calidad en el desarrollo de este vector energético. Estos reglamentos abordan la calidad del hidrógeno de bajas emisiones, la seguridad en su manejo y las condiciones para su uso en celdas de combustible, sirviendo como referencia para el desarrollo normativo en otras regiones del mundo, incluyendo América Latina.

1

La metrología en la cadena de valor en el hidrógeno de bajas emisiones

Los productores de hidrógeno necesitan la metrología porque es una herramienta fundamental para garantizar la eficiencia, el manejo seguro de procesos y la calidad de los productos, especialmente en lo relacionado con su pureza.

La metrología permite medir con precisión variables críticas para el proceso tales como: potencia y calidad de energía, presión, temperatura, flujo de gas y composición química, lo cual es esencial para optimizar los procesos productivos, reducir desperdicios y asegurar el cumplimiento de especificaciones técnicas. Esto se traduce en una mayor eficiencia operativa con lo que se logra tener una mayor competitividad en el mercado.

Etapa 1. Generación de energía renovable

La energía se puede producir de manera solar, eólica o hídrica, con la intervención de algunas magnitudes como temperatura, voltaje, corriente, potencia, calidad de la energía, irradiancia y par torsional, entre otros.

En este caso la potencia y calidad de energía indicarían cuánta energía se produce y cuál es su

calidad, lo cual es crítico para determinar la eficiencia del proceso de producción.

Etapa 2. Producción

El Hidrógeno se puede obtener por medio de electrólisis, reformado con vapor de metano y síntesis. Entre las magnitudes más importantes que se destacan en esta etapa se encuentran presión, temperatura, caudal y composición. En la parte de composición es importante destacar el control de la pureza y la detección de impurezas. La pureza se convierte en un factor crítico para la utilización segura y eficiente del hidrógeno, en aplicaciones energéticas, especialmente en celdas de combustible, por lo que es indispensable realizar una cuantificación rigurosa de las impurezas presentes, ya que éstas pueden impactar negativamente los procesos productivos, así como, el rendimiento y la durabilidad de las celdas de combustible con efectos que pueden ser irreversibles. En la Tabla 1 se presenta un resumen de los principales efectos que diversos contaminantes, podrían ejercer sobre los sistemas (Aprea, 2014).

Contaminante	Tipo	Tipo de acción
Aromáticos	-	Bloquean el acceso del hidrógeno a los sitios del catalizador
Metano	-	Inerte que diluye el gas hidrógeno
Oxígeno	-	Inerte
Agua	-	Proporciona un mecanismo para el transporte de contaminantes solubles en agua como K^+ y Na^+
Helio, Argón	-	Inertes que diluyen el gas hidrógeno
Nitrógeno	-	Inerte que diluye el gas hidrógeno
Dióxido de carbono	-	Impureza no reactiva
Monóxido de carbono	Reversible	Contaminante severo del catalizador
Compuestos totales de azufre	Irreversible	Contaminante severo que degrada el rendimiento de la celda de combustible
H ₂ S, sulfuros de carbonilo, metilmercaptano	Irreversible	Contaminante severo que degrada el rendimiento de la celda de combustible
Ácido fórmico	Irreversible	Efecto más severo que el del CO debido a cinéticas de recuperación más lentas
Ácido fórmico	Irreversible	Efecto más severo que el del CO debido a cinéticas de recuperación más lentas
Formaldehído	Reversible	Efecto más severo que el del CO debido a cinéticas de recuperación más lentas
Partículas	Irreversible	Erosión de juntas, obstrucción de filtros y válvulas
Aerosoles con K^+/Na^+	Irreversible	Degradación de la membrana/intercambiador de protones por contaminación
Compuestos halogenados	Irreversible	Degradan el rendimiento de la celda de combustible
Amoníaco	Irreversible	Reacciona con protones en la membrana/ionómero para formar iones NH_4^+

Tabla 1:
Contaminantes comunes en hidrógeno

Fuente: (ISO 14687:2019 – Hydrogen fuel quality — Product specification)

Etapa 3. Almacenamiento

Este se puede realizar por medio de hidrógeno de gas comprimido o hidrógeno líquido en criogenia, dependiendo de las condiciones de presión que se manejen. Las principales magnitudes involucradas son presión, temperatura, masa y pureza.

Esta etapa es crítica en lo relacionado al control contra explosiones, dadas las características de la molécula: alta volatilidad, fácil dispersión, inolora, incolora, inodora, etc., y que se requieren utilizar altas presiones (por encima de los 300 bar). De otra parte, si se requiere almacenar como Hidrógeno Líquido, se deben manejar bajas temperaturas, del orden de la criogenia, cercanas a $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que hace que sea muy costoso el almacenamiento en este estado de la molécula.

Etapa 4. Transporte y distribución

Igual que en la etapa anterior, esta fase también es de gran relevancia por el manejo de la molécula, esto exige contar con los controles adecuados y transportar el Hidrógeno en el estado más conveniente (gas, líquido o en derivados), por esta razón, la metrología desempeña un papel clave en el manejo y la seguridad de procesos industriales y sistemas de almacenamiento y transporte de gases inflamables buscando la prevención de riesgos como explosiones o fugas y protegiendo, tanto a las personas como a las instalaciones y al medio ambiente.

En resumen, la metrología ofrece las bases técnicas necesarias para garantizar la calidad, mejorar la eficiencia de los procesos y ofrecer seguridad en aplicaciones industriales. Estos aspectos son fundamentales para la sostenibilidad, el cumplimiento regulatorio y el éxito empresarial en sectores altamente exigentes.



2.

Capacidades metrológicas del Instituto Nacional de Metrología para el hidrógeno de bajas emisiones y sus usos

En la producción de hidrógeno de bajas emisiones intervienen diversos procesos en los que la medición de variables fisicoquímicas es fundamental para garantizar la eficiencia operativa, la seguridad industrial, la calidad del producto y el cumplimiento de normativas técnicas, nacionales e internacionales.

Si bien Colombia cuenta con capacidades para medir estas magnitudes, actualmente existen limitaciones en cuanto a su alcance y trazabilidad, que permitan cubrir todos los rangos operativos requeridos por la industria del hidrógeno. Por ejemplo, en procesos donde se alcanzan presiones superiores a 300 bar, como son los sistemas de almacenamiento para aplicaciones vehiculares, las capacidades metrológicas disponibles en el país no cubren dichos rangos en presión neumática, así mismo, no se cuenta con la capacidad para brindar trazabilidad dentro del país al Sistema Internacional de Unidades en mediciones de temperatura inferiores a los $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lo mismo ocurre en el caso de la pureza del hidrógeno en el orden del 99,999% (requisitos comunes para celdas de combustible), esto porque se requiere equipamiento de alta precisión para

cuantificar trazas de contaminantes en niveles de partes por millón (ppm) o inferiores, lo cual actualmente no está completamente desarrollado y trazado.



[scharfsinn86 - stock.adobe.com](#)

En la siguiente tabla se ven los rangos requeridos por magnitud según el uso:

Uso	Aplicación	Combustible	Presión (bar)	Temperatura (°C)	Pureza (%)
Transporte	Transporte individual	Hidrógeno gas comprimido	700	(-20 a 50)	> 99.999
	Transporte de pasajeros	Hidrógeno líquido criogénico	(1 a 3)	-253	> 99.999
	Transporte de pasajeros	Hidrógeno gas comprimido	350	(-20 a 50)	> 99.999
	Transporte de carga	Hidrógeno gas comprimido	350	(-20 a 50)	> 99.999
	Transporte fluvial y marítimo	Hidrógeno líquido criogénico	(1 a 5)	-253	> 99.999
	Transporte fluvial y marítimo	Metanol	(1 a 5)	(15 a 25)	> 99
	Transporte fluvial y marítimo	Amoníaco	(5 a 20)	(-33 a 29)	> 99.5
	Transporte férreo	Hidrógeno gas comprimido	350	(-20 a 50)	> 99.999
	Transporte férreo	Hidrógeno líquido criogénico	(1 a 5)	-253	> 99.999
	Transporte aéreo	Hidrógeno líquido criogénico	(1 a 2)	-253	> 99.999
	Transporte aéreo	Combustible de aviación sostenible	(1 a 3)	(-47 a 39)	> 99.5
Industria	Acero	Amoníaco	(1 a 10)	-253	> 98
	Fertilizantes	Hidrógeno líquido criogénico	(15 a 300)	(400 a 500)	> 99.5
Exportación	Embarcaciones	Amoníaco	1	-33	> 99
	Embarcaciones	Amoníaco	(5 a 10)	(15 a 25)	> 99
	Embarcaciones	Amoníaco	(1 a 5)	25	> 99
	Embarcaciones	Amoníaco	(1 a 10)	-253	> 99.999

Tabla 2:
Magnitudes asociadas a los usos y aplicaciones.

Nota: La información de los requerimientos, necesidades metrológicas y capacidades actuales del INM se puede consultar en el Anexo No.1.

Capacidades de medición INM.

Las presiones neumáticas por encima de 10 bar y las temperaturas por debajo de -70 °C, se encuentran por fuera de la capacidad de medición actualmente disponible en el INM, lo que implica la necesidad de fortalecer la infraestructura metrológica nacional, tanto en términos de laboratorios acreditados como en tecnologías de medición avanzadas, incluyendo el desarrollo de patrones de referencia, metodologías de calibración y sistemas de aseguramiento metrológico que permitan establecer una trazabilidad confiable y alineada con estándares internacionales. Este fortalecimiento es especialmente relevante para atender las demandas asociadas al uso del hidrógeno como gas

comprimido (GH₂) en transporte terrestre (individual, pasajeros, carga y férreo), así como para aplicaciones industriales y de exportación donde se requieren presiones elevadas y rangos de temperatura de mayor capacidad.

Adicionalmente, es fundamental el desarrollo de capacidades metrológicas en el control de pureza de los combustibles alternativos, dado que las especificaciones técnicas exigen niveles superiores al 99.9 % para garantizar la eficiencia de los procesos y la seguridad de las aplicaciones, lo cual requiere metodologías analíticas validadas y sistemas de medición con trazabilidad internacional.

3.

Desarrollos del INM en la cadena de valor del hidrógeno de bajas emisiones

El INM busca fortalecer sus capacidades para apoyar el desarrollo de la cadena productiva del hidrógeno, incluyendo la generación de patrones de referencia, métodos de medición validados y servicios metrológicos confiables para la caracterización de parámetros críticos como la pureza química, el contenido de impurezas específicas (por ejemplo, CO, H₂O, CH₄, O₂, NH₃), la presión, la temperatura, el flujo y otras propiedades fisicoquímicas relevantes. Estas capacidades permitirán fortalecer el aseguramiento metrológico en procesos de producción, almacenamiento, distribución y uso final del hidrógeno, particularmente en aplicaciones de movilidad, energía e industria.

Además, el INM tiene como objetivo contribuir al cumplimiento de estándares internacionales como la norma ISO 14687 y facilitar la implementación de reglamentos técnicos, apoyando así el desarrollo de la infraestructura de calidad, el incremento en la competitividad del sector y el cumplimiento de las metas nacionales relacionadas con la transición energética y la descarbonización de la economía.

En este sentido, el Instituto ha adelantado esfuerzos orientados a la adquisición de conocimientos

especializados, infraestructura tecnológica y alianzas estratégicas, participando activamente en espacios de discusión, convocatorias nacionales e internacionales y proyectos de cooperación internacional:

1. Convocatoria **nacional**:

Desarrollo e implementación de conocimiento, tecnología e infraestructura nacional de la calidad para el fortalecimiento de cadenas productivas de biogás, hidrógeno y biocombustibles sólidos con visión de exportación en la región Centro Oriente- Convocatoria 40 SRG Minciencias

2. Convocatoria **internacional**:

Metrological Challenges for Hydrogen Flow and Quality Measurement in the Hydrogen Economy: Convocatoria EURAMET 2025

3. Proyecto de Cooperación **ARTICAL III** con el PTB de Alemania.

4. Proyectos de Cooperación con la Agencia Alemana de Cooperación, GIZ (H2PPP y H2Diplo).

Así mismo, participa activamente en mesas de trabajo con la AHK (Cámara de Industria y Comercio Colombo Alemana), la Cámara Colombiana de Hidrógeno ANDI – Naturgas y la Asociación Hidrógeno de Colombia.

► Conclusiones

El desarrollo del hidrógeno de bajas emisiones en Colombia se enmarca en un contexto estratégico de transición energética, en el cual la infraestructura nacional de la calidad y, en particular la metrología, desempeñan un papel determinante. A través de un sólido entramado normativo, políticas públicas, acreditación y normalización técnica, el país avanza en la consolidación de una cadena de valor del hidrógeno que garantice seguridad, eficiencia y competitividad, tanto a nivel nacional como internacional.

La metrología se posiciona como un pilar esencial para asegurar la trazabilidad, exactitud y comparabilidad de las mediciones en todas las etapas del ciclo del hidrógeno, desde su producción hasta su uso final. Esta disciplina técnica habilita el cumplimiento de normas internacionales como la ISO 14687, mediante el desarrollo de métodos analíticos validados, materiales de referencia certificados y patrones nacionales con incertidumbre demostrada.

Así, se asegura la calidad del hidrógeno en términos de pureza, minimizando los riesgos asociados a contaminantes y mejorando el rendimiento de tecnologías sensibles como las celdas de combustible.

En este contexto, el rol del Instituto Nacional de Metrología (INM) resulta fundamental, ya que lidera el desarrollo de capacidades técnicas que permitirán a Colombia cerrar brechas en medición y calibración, y posicionarse como un actor confiable en el comercio

global del hidrógeno. Asimismo, la articulación con organismos como ICONTEC y la adopción de normas internacionales fortalecen la armonización regulatoria y el aseguramiento de la calidad en toda la cadena productiva, de igual manera es importante mencionar el rol asociado a la certificación de origen del hidrógeno que exige el decreto 1597 del 2024, la que debe ser emitida por un organismo que se encuentre acreditado para tal fin y que sea avalado por el Organismo Nacional de Acreditación (ONAC).

La integración de la metrología en el ecosistema del hidrógeno de bajas emisiones no solo es una condición habilitante para su adopción segura y eficiente, sino también un factor estratégico para el cumplimiento de metas climáticas, el impulso de nuevas oportunidades industriales y la promoción de una economía sostenible y de bajo carbono en Colombia.

► Anexos

Anexo 1. Infografía: Hidrógeno: Realidad y retos desde la metrología: [Visualízala haciendo clic aquí](#)

REFERENCIAS

ASTM D7509-09. (2011). Standard test method for determination of ammonium, alkali and alkaline earth metals in hydrogen and other cell feed gases by ion chromatography.

ASTM D7651-10. (2011). Standard test method for gravimetric measurement of particulate concentration of hydrogen fuel.

ASTM D7652-11. (2011). Standard test method for determination of trace hydrogen sulfide, carbonyl sulfide, methyl mercaptan, carbon disulfide and total sulfur in hydrogen fuel by gas chromatography and sulfur chemiluminescence detection.

ISO 14687-2. (2008). Hydrogen — Fuel quality — Part 2: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles.

Mahajan, E. H., Daud, W. R. W., Iyuke, S. E., Abu Bakar, M., Amir, H. K. A., Abdul Wahab, M., et al. (2009). Hydrogen purification using compact pressure swing adsorption system for fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(6), 2771–2777.

Papadias, D. D., Ahmed, S., Kumar, R., & Joseck, F. (2009). Hydrogen quality for fuel cell vehicles – A modeling study of the sensitivity of impurity content in hydrogen to the process variables in the SMR–PSA pathway. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(15), 6021–6035.

Rivkin, C., Blake, C., Burgess, R., Buttner, W. J., & Post, M. B. (2011). A national set of hydrogen codes and standards for the United States. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(3), 2736–2741.

Apra, J. L. (2014). Quality specification and safety in hydrogen production, commercialization and utilization. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(11), 6054–6060.

Interempresas Media. (s.f.). Instrumentación para la industria del hidrógeno. Recuperado el 9 de junio de 2025, de <https://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/485088-Instrumentacion-para-la-Industria-del-Hidrogeno.html>

Departamento Nacional de Planeación. (2023). Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: Colombia, potencia mundial de la vida. Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026

IRENA & PTB. (2023). QI project roadmap PPT extended. Meeting of the Open-ended Group on the Tenure Policy of Professional Staff and Above

Abe, J. O., Popoola, A. P. I., Ajenifuja, E., & Popoola, O. M. (2019). Hydrogen energy, economy and storage: Review and recommendation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(29), 15072–15086. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.04.068>

Sdanghi, G., Maranzana, G., Celzard, A., & Fierro, V. (2019). Review of the current technologies and performances of hydrogen compression for stationary and automotive applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, 150–170. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.018>

International Organization for Standardization. (2019). ISO 14687:2019 - Hydrogen fuel — Product specification. ISO. <https://www.iso.org/standard/69539.html>

M.J. et al. (2024). Exoplanet accretion monitoring spectroscopic survey (ENTROPY) - I. Evidence for magnetospheric accretion in the young isolated planetary-mass object 2MASS J11151597+1937266. *Astronomy & Astrophysics*, 674, A108. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202424080>



**Instituto Nacional de
Metrología de Colombia**

