

**Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y
Metrología**



INTN

**Proyecto de Norma
en Aplicación**

PNA 70 002 24

**Calidad del combustible de
hidrógeno. Especificaciones del
producto.**

**Octubre/2024
Primera Edición**

PREFACIO

El Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología -INTN- es el Organismo Nacional de Normalización y tiene por objeto promover y adoptar las acciones para la armonización y la elaboración de las Normas Paraguayas.

El INTN desarrolla su actividad normativa paraguaya a través de su Departamento de Normalización y éste por medio de la conformación de Comités Técnicos de Normalización – CTN – creados para campos de acción claramente definidos.

Con el fin de garantizar un consenso nacional, los proyectos elaborados por los Comités se someten a un periodo de Consulta Pública durante el cual puede formular observaciones cualquier persona.

Esta Norma fue elaborada por el CTN 70 Tecnologías del Hidrógeno y está integrada por representantes de instituciones públicas, empresas privadas, asociaciones de consumidores, universidades.

Para la elaboración de esta Norma se tomó como base la Norma siguiente.

- ISO 14687:2019 Calidad del combustible de hidrógeno. Especificaciones del producto

ÍNDICE

- 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN**
- 2 REFERENCIAS NORMATIVAS**
- 3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES**
- 4 CLASIFICACIÓN Y APLICACIÓN**
- 5. REQUISITOS DE CALIDAD DEL HIDRÓGENO PARA APLICACIONES EN VEHÍCULOS DE CARRETERA CON PILA A COMBUSTIBLE PEM**
- 6 HIDRÓGENO Y COMBUSTIBLES A BASE DE HIDRÓGENO, REQUISITOS DE CALIDAD PARA APLICACIONES ESTACIONARIAS CON PILAS A COMBUSTIBLE PEM**
- 7 REQUISITOS DE CALIDAD DEL HIDRÓGENO PARA APLICACIONES DISTINTAS A VEHÍCULOS DE CARRETERA CON PILA DE COMBUSTIBLE PEM Y APLICACIONES ESTACIONARIAS**

ANEXO A

ANEXO B

ANEXO C

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Este documento especifica las características mínimas de calidad del combustible de hidrógeno para su uso en aplicaciones vehiculares y estacionarias.

Es aplicable al abastecimiento de hidrógeno, que se enumera en la Tabla 1.

2 REFERENCIAS NORMATIVAS

Las Normas siguientes contienen disposiciones que a través de su referencia en el texto, constituyen disposiciones válidas para la presente Norma Paraguaya. En el momento de la publicación las ediciones indicadas eran las vigentes. Todas las Normas están sujetas a revisión y se invita a las partes que efectúen acuerdos basados en esta Norma a buscar la posibilidad de aplicar la edición más reciente de la Norma indicada. El INTN tiene catálogos de sus normas vigentes en una fecha determinada.

- ISO 19880-8, Hidrógeno gaseoso - Estaciones de servicio. Parte 8: Control de calidad del combustible.
- ISO 21087, Análisis de gases - Métodos analíticos para combustible de hidrógeno. Aplicaciones de pilas a combustible de membrana de intercambio protónico en vehículos de carretera.
- PNA 70 001 23. Tecnologías del Hidrógeno. Terminología

3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los fines de este documento se aplican los términos y definiciones referenciada en la norma PNA 70 001 23.

3.1 Punto de frontera: <Pila a combustible PEM (3.7) para aplicaciones estacionarias> punto entre el equipo de suministro de hidrógeno (3.13) y el sistema de alimentación de la pila a combustible PEM (3.9) en el cual se determinarán las características de calidad del combustible de hidrógeno.

NOTA

La sigla PEM se refiere a “*Proton Exchange Membrane*”.

3.2 Constituyente: componente (o compuesto) que se encuentra dentro de una mezcla de combustible de hidrógeno.

3.3 Contaminante: impureza que afecta negativamente a los componentes dentro del sistema de pila a combustible (3.8), el sistema energético de pila a combustible (3.9) o el sistema de almacenamiento de hidrógeno.

NOTA

Un efecto adverso puede ser reversible o irreversible.

3.4 Cliente: <Pila a combustible PEM (3.7) para aplicaciones estacionarias> parte responsable del abastecimiento de combustible de hidrógeno para operar el sistema de energía de la pila a combustible (3.9).

3.5 Límite de detección: cantidad más baja de una sustancia que puede distinguirse de la ausencia de esa sustancia con un límite de confianza establecido.

3.6 Límite de determinación: cantidad más baja que puede medirse dado un nivel de incertidumbre aceptable.

3.7 Pila a combustible: dispositivo electroquímico que transforma la energía química de un combustible, con la participación de un oxidante, en electricidad (en corriente continua), calor y otros productos de reacción.

3.8 Sistema de pila a combustible: <Pila a combustible (3.7) PEM para aplicaciones en vehículos terrestres> sistema generador de electricidad en un vehículo de pila a combustible.

NOTA

El sistema de pila a combustible normalmente contiene los siguientes subsistemas: pila a combustible de múltiples celdas, procesamiento de aire, procesamiento de combustible, gestión térmica y gestión del agua.

3.9 Sistema energético de pila a combustible: <Pila a combustible (3.7) PEM para aplicaciones estacionarias> conjunto de pilas a combustible utilizado para la generación eléctrica que está fijo en una ubicación específica.

NOTAS

1. El sistema energético de pila a combustible generalmente contiene los siguientes subsistemas: pila a combustible de múltiples celdas, procesamiento de aire, gestión térmica, gestión de agua y sistema de control automático. Se usa en aplicaciones tales como: generación distribuida de energía, generación de energía de respaldo, generación de energía remota, electricidad y cogeneración de calor para aplicaciones residenciales y comerciales.

2. Para propósitos de las aplicaciones, el sistema energético de pila a combustible no contiene un subsistema de procesamiento de combustible debido a la ubicación del punto de frontera (3.1).

3.10 Hidrógeno gaseoso: hidrógeno en forma de gas, purificado a una fracción molar mínima como se especifica en las tablas de este documento.

3.11 Combustible a base de hidrógeno: <Pila a combustible (3.7) PEM para aplicaciones estacionarias> gas que contiene una concentración de hidrógeno como se especifica en las tablas de este documento utilizado para pilas a combustible PEM para aplicaciones estacionarias.

3.12 Índice de combustible de hidrógeno: fracción molar de hidrógeno en una mezcla de gases cuyo componente mayoritario es el hidrógeno.

3.13 Equipo de suministro de combustible de hidrógeno: equipo utilizado para el transporte o la generación in situ de hidrógeno como combustible y, posteriormente, para el

suministro al sistema energético de pila a combustible (3.9), incluido el almacenamiento adicional, la vaporización y la regulación de presión, según corresponda.

3.14 Efecto irreversible: efecto, que da como resultado una degradación permanente del rendimiento del sistema de pila a combustible (3.8) o del sistema energético de pila a combustible (3.9) que no puede restaurarse mediante cambios prácticos de las condiciones operativas y/o de la composición del gas.

3.15 Hidrógeno líquido: hidrógeno que ha sido licuado, es decir, llevado a un estado líquido.

3.16 Partículas: sólido o líquido, como niebla de aceite, que puede ser arrastrado a algún lugar durante la producción, suministro, almacenamiento o transferencia del combustible de hidrógeno a un sistema de pila a combustible (3.8) o a un sistema energético de pila a combustible (3.9).

3.17 Efecto reversible: efecto, que da como resultado una degradación temporal del rendimiento del sistema de pila a combustible (3.8) o del sistema energético de pila a combustible (3.9) que puede restaurarse mediante cambios prácticos de las condiciones operativas y/o de la composición del gas.

3.18 Hidrógeno semisólido (*slush hydrogen*): hidrógeno que es una mezcla de sólido y líquido a la temperatura eutéctica (punto triple).

3.19 Integrador de sistemas: <pila a combustible (3.7) PEM para aplicaciones estacionarias> integrador de equipos entre el sistema energético de pila a combustible PEM (3.9) y el suministro de hidrógeno.

4 CLASIFICACIÓN Y APLICACIÓN

4.1 Clasificación

El hidrógeno como combustible se clasificará según los siguientes tipos y designaciones de grados:

- a) Tipo I (grados A, B, C, D y E): hidrógeno gaseoso y combustible a base de hidrógeno.
- b) Tipo II (grados C y D): hidrógeno líquido.
- c) Tipo III: hidrógeno semisólido (*slush hydrogen*).

4.2 Aplicación

La Tabla 1 caracteriza las aplicaciones representativas de cada tipo y grado de combustible de hidrógeno.

Tabla 1. Clasificación del hidrógeno y de los combustibles a base de hidrógeno por aplicación.

Tipo	Grado	Categoría	Aplicaciones	Clausula	
I Gas	A	----	Hidrógeno gaseoso; motores de combustión interna para transporte; equipamientos de combustión residenciales/comerciales (por ejemplo, calderas, cocinas, bombas de calor y aplicaciones similares)	7	
	B	----	Hidrógeno gaseoso; combustible industrial para generación de energía eléctrica y generación de calor, excepto aplicaciones de pilas a combustible PEM.	7	
	C	----	Hidrógeno gaseoso; sistemas de apoyo en tierra para aeronaves y vehículos espaciales, excepto aplicaciones de pilas a combustible PEM.	7	
	D ^{a,b}	----	Hidrógeno gaseoso; pilas a combustible PEM para vehículos terrestres.	5	
	E	Pilas a combustible PEM para aparatos estacionarios			6
		1	Combustible a base de hidrógeno; aplicaciones de alta eficiencia/baja potencia		
2		Combustible a base de hidrógeno; aplicaciones de alta potencia			
	3	Hidrógeno gaseoso; aplicaciones de alta potencia/alta eficiencia			
II Líquido	C	----	Propulsión y demás requerimientos de energía eléctrica a bordo de aeronaves y vehículos espaciales; vehículos todo terreno	7	
	D ^{a,b}	----	Pilas a combustible PEM para vehículos terrestres	7	
III Semisólido	----	----	Propulsión a bordo de aeronaves y vehículos espaciales	7	

^a El grado D puede usarse para otras aplicaciones de pilas a combustible para transporte, incluidos montacargas y otros vehículos industriales, si así lo acuerdan el proveedor y el cliente.

^b El grado D puede usarse para pila a combustible PEM estacionaria como alternativa al grado E, categoría 3.

NOTA

Las fuentes biológicas de hidrógeno pueden contener componentes adicionales (por ejemplo, siloxanos o mercurio) que pueden afectar el rendimiento de las diversas aplicaciones, en particular las pilas a combustible PEM. Sin embargo, estas no están incluidas en la mayoría de las siguientes especificaciones debido a información insuficiente.

5 REQUISITOS DE CALIDAD DEL HIDRÓGENO PARA APLICACIONES EN VEHÍCULOS DE CARRETERA CON PILA A COMBUSTIBLE PEM

5.1 Especificación de calidad del combustible

La calidad del hidrógeno en la boquilla dispensadora para hidrógeno de grado D (ver Tabla 1) deberá cumplir con los requisitos de la Tabla 2. Las especificaciones del combustible no dependen del proceso ni son específicas de la materia prima. Los contaminantes no incluidos en la lista no tienen garantía de ser benignos.

NOTA

ISO 19880-8:2019, el Anexo A proporciona la justificación para la selección de las impurezas especificadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Especificación de calidad del combustible para aplicaciones en vehículos de carretera con pila a combustible PEM.

Constituyentes ^a (ensayo)	Tipo I, Tipo II grado D
Índice de combustible de hidrógeno (fracción molar mínima) ^b	99,97 %
Total de gases distintos del hidrógeno (máximo)	300 µmol/mol
Concentración máxima de contaminantes individuales	
Agua (H ₂ O)	5 µmol/mol
Hidrocarburos totales excepto metano ^c (equivalente C1)	2 µmol/mol
Metano (CH ₄)	100 µmol/mol
Oxígeno (O ₂)	5 µmol/mol
Helio (He)	300 µmol/mol
Constituyentes^a (ensayo)	Tipo I, Tipo II grado D
Nitrógeno (N ₂)	300 µmol/mol
Argón (Ar)	300 µmol/mol
Dióxido de carbono (CO ₂)	2 µmol/mol
Monóxido de carbono (CO) ^d	0,2 µmol/mol
Compuestos de azufre totales ^e (equivalente S1)	0,004 µmol/mol
Formaldehído (HCHO) ^d	0,2 µmol/mol
Ácido fórmico (HCOOH) ^d	0,2 µmol/mol
Amoníaco (NH ₃)	0,1 µmol/mol
Compuestos halogenados ^f (equivalente de ión halógeno)	0,05 µmol/mol
Concentración máxima de partículas ^g	1 mg/kg

^a Para los constituyentes que son aditivos, como los hidrocarburos totales y los compuestos de azufre totales, la suma de los constituyentes deberá ser menor o igual al límite aceptable.

^b El índice de combustible de hidrógeno se determina restando el "total de gases distintos del hidrógeno" en esta tabla, expresado en porcentaje molar, del 100 por ciento molar.

^c Los hidrocarburos totales, excepto el metano, incluyen especies orgánicas oxigenadas. Los hidrocarburos totales deben ser medidos en equivalente C1 (µmol/mol).

^d La suma de CO, HCHO y HCOOH medidos no deberá exceder los 0,2 µmol/mol.

^e Como mínimo, los compuestos de azufre totales incluyen H₂S, COS, CS₂ y mercaptanos, los cuales normalmente se encuentran en el gas natural.

^f Todos los compuestos halogenados que potencialmente podrían estar en el gas hidrógeno [por ejemplo, cloruro de hidrógeno (HCl) y cloruros orgánicos (R-Cl)] deben determinarse mediante el plan de control de calidad del hidrógeno discutido en la ISO 19880-8. Los compuestos halogenados se medirán en equivalente de ión halógeno (µmol/mol).

^g Las partículas incluyen partículas sólidas y líquidas compuestas de neblina de aceite. Las partículas grandes pueden causar problemas con los componentes del vehículo y deben limitarse mediante el uso de un filtro como se especifica en la ISO 19880-1. No se deberá encontrar aceite visible en el combustible en la boquilla.

5.2 Método analítico

Los métodos analíticos para medir los componentes de la Tabla 2 deberán cumplir los requisitos de la norma ISO 21087.

5.3 Muestreo

En la norma ISO 19880-1 se encuentran disponibles directrices sobre métodos de muestreo de hidrógeno para estaciones de abastecimiento de hidrógeno gaseoso.

5.4 Control de calidad del hidrógeno.

Los medios para garantizar que la calidad del hidrógeno cumpla con la especificación del punto 5.1 se basarán en la norma ISO 19880-8.

6 HIDRÓGENO Y COMBUSTIBLE A BASE DE HIDRÓGENO, REQUISITOS DE CALIDAD PARA APLICACIONES ESTACIONARIAS CON PILAS A COMBUSTIBLE PEM

6.1 Especificación de calidad del combustible

La calidad del hidrógeno y de los combustibles a base de hidrógeno suministrados a las pilas a combustible PEM estacionarias deberá cumplir los requisitos del cuadro 3 en el punto de frontera establecido entre el equipo de suministro de combustible de hidrógeno y el sistema de alimentación de la pila a combustible PEM.

NOTAS

1. El Anexo A proporciona orientación para la selección del punto de frontera.
2. El Anexo B proporciona la justificación para la selección de las impurezas especificadas en la Tabla 3.

Hidrógeno tipo 1, grado E y combustibles a base de hidrógeno, para aplicaciones de pilas a combustible PEM para aparatos estacionarios, especifique las siguientes subcategorías para satisfacer las necesidades de diferentes aplicaciones estacionarias, según los requisitos especificados por el fabricante:

- Tipo I, grado E, categoría 1 (combustible a base de hidrógeno; aplicaciones de alta eficiencia/baja potencia).
- Tipo I, grado E, categoría 2 (combustible a base de hidrógeno; aplicaciones de alta potencia).
- Tipo I, grado E, categoría 3 (hidrógeno gaseoso; aplicaciones de alta eficiencia/alta potencia).

Tabla 3. Especificaciones de calidad del hidrógeno para aplicaciones estacionarias de pilas de combustible PEM.

Constituyentes ^a (ensayo)	Tipo I, grado E		
	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3
Índice de combustible de hidrógeno ^b (fracción molar mínima)	50 %	50 %	99,9 %
Total de gases distintos del hidrógeno (fracción molar máxima)	50%	50 %	0,1 %
Agua (H ₂ O) ^c	Sin condensación en cualquier condición ambiental	Sin condensación en cualquier condición ambiental	Sin condensación en cualquier condición ambiental
Concentración máxima de contaminantes individuales ^d			
Hidrocarburos totales excepto metano ^e (equivalente C1)	10 µmol/mol	2 µmol/mol	2 µmol/mol
Metano (CH ₄)	5 %	1 %	100 µmol/mol
Oxígeno (O ₂)	200 µmol/mol	200 µmol/mol	50 µmol/mol
Suma de nitrógeno (N ₂), argón (Ar) y helio (He) (fracción molar)	50 %	50 %	0,1 %
Dióxido de carbono (CO ₂)	Incluido en gases totales distintos de hidrógeno	Incluido en gases totales distintos de hidrógeno	2 µmol/mol
Monóxido de carbono (CO)	10 µmol/mol	10 µmol/mol	0,2 µmol/mol ^f
Compuestos de azufre totales ^g (equivalente S1)	0,004 µmol/mol	0,004 µmol/mol	0,004 µmol/mol
Formaldehído (HCHO)	3,0 µmol/mol	0,2 µmol/mol	0,2 µmol/mol
Ácido fórmico (HCOOH)	10 µmol/mol	0,2 µmol/mol	0,2 µmol/mol
Amoníaco (NH ₃)	0,1 µmol/mol	0,1 µmol/mol	0,1 µmol/mol
Compuestos halogenados ^h (equivalente de ión halógeno)	0,05 µmol/mol	0,05 µmol/mol	0,05 µmol/mol
Concentración máxima de partículas	1 mg/kg	1 mg/kg	1 mg/kg
Diámetro máximo de partícula	75 µm	75 µm	75 µm

^a Para los constituyentes que son aditivos, como los hidrocarburos totales y los compuestos de azufre total, la suma de los constituyentes deberá ser menor o igual al límite aceptable.

^b El índice de combustible de hidrógeno se determina restando el "total de gases distintos del hidrógeno" en esta tabla, expresado en porcentaje molar, del 100 por ciento molar.

^c Cada sitio deberá ser evaluado para determinar el contenido de agua máximo apropiado en función de la temperatura ambiente más baja esperada y la presión de almacenamiento más alta esperada.

^d La concentración máxima de impurezas frente al contenido total de gas se determinará en base seca.

^e Los hidrocarburos totales, excepto el metano, incluyen especies orgánicas oxigenadas. Los hidrocarburos totales, excepto el metano, deben ser medidos en equivalente C1 (µmol/mol).

^f La suma de CO, HCHO, HCOOH medidos no deberá exceder 0,2 µmol/mol.

^g Como mínimo, los compuestos de azufre totales incluyen H₂S, COS, CS₂ y mercaptanos, los cuales normalmente se encuentran en el gas natural.

^h Los compuestos halogenados incluyen, por ejemplo, cloruro de hidrógeno (HCl) y cloruros orgánicos (R-Cl). Los compuestos halogenados se medirán en equivalente de ión halógeno (µmol/mol).

6.2 Verificación de calidad

6.2.1 Requerimientos generales

Los requisitos de verificación de calidad se determinarán en el punto de frontera usando los métodos de muestreo especificados en 6.3.

La selección de los contaminantes relevantes del combustible para el análisis, como se especifica en la Tabla 3, debe realizarse basándose en el método de producción del hidrógeno.

Todos los análisis realizados conforme a este documento se realizarán usando estándares de calibración gaseosos (u otros dispositivos de calibración) que sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI) a través de estándares nacionales, cuando dichos estándares estén disponibles.

NOTA

La ISO 21087 proporciona orientación para métodos analíticos.

6.2.2 Requisitos analíticos de las pruebas de calificación

La frecuencia de las pruebas y los requisitos analíticos para las pruebas de calificación se determinarán en base al acuerdo entre el proveedor y el cliente. Se deberá tener en cuenta la coherencia del suministro de hidrógeno al determinar la frecuencia de las pruebas y los componentes que se probarán.

NOTA

El Anexo C proporciona una práctica recomendada para el aseguramiento de la calidad para los procesos de producción de hidrógeno con reformado de metano con vapor (SMR) usando purificación por adsorción por oscilación de presión (PSA).

6.2.3 Informar resultados

Los límites de detección y los límites de determinación de los métodos e instrumentos analíticos utilizados se informarán junto con los resultados de cada prueba y la fecha en que se tomó la muestra.

6.3 Muestreo

6.3.1 Tamaño de muestra

Cuando sea posible, la cantidad de hidrógeno en un sólo recipiente de muestra debe ser suficiente para realizar los análisis para la especificación de calidad del combustible de hidrógeno. Si una sola muestra no contiene una cantidad suficiente de hidrógeno para realizar todos los análisis necesarios para evaluar el nivel de calidad, se tomarán muestras adicionales del mismo lote en condiciones similares. Es posible que se requiera una muestra grande o una muestra con una presión mayor, cuando corresponda, si se realizarán múltiples pruebas.

6.3.2 Selección del punto de muestreo.

Se establecerá un punto de frontera para que las muestras gaseosas sean representativas de los suministros de hidrógeno a los sistemas energéticos de pilas a combustible PEM.

NOTA

El Anexo A proporciona orientación para ayudar en la identificación de la parte responsable de la calidad del hidrógeno en el punto de frontera y también en la selección del punto de frontera.

6.3.3 Procedimiento de muestreo

Las muestras de hidrógeno gaseoso serán representativas del suministro de hidrógeno y se extraerán del punto de frontera a través de una conexión adecuada a un recipiente de muestra del tamaño adecuado. Debe evitarse la introducción de contaminantes del combustible de hidrógeno entre el punto de frontera y el recipiente de muestra (puede usarse una válvula de purga adecuada).

Los gases residuales dentro del recipiente de muestra deberán evacuarse previamente para garantizar que el hidrógeno muestreado no se contamine. Si no es posible la evacuación, el recipiente de la muestra se limpiará mediante ciclos de purga repetidos.

Los gases muestreados son inflamables. Se deberán tomar medidas para evitar situaciones peligrosas. Se proporciona orientación en la ISO/TR 15916.

6.3.4 Partículas en hidrógeno gaseoso

Las partículas en el hidrógeno serán muestreadas desde el punto de frontera, usando un filtro, si es práctico, en las mismas condiciones (presión y caudal) que las empleadas en las condiciones reales de suministro de hidrógeno. Se deben tomar medidas adecuadas para que el gas de muestra no se contamine con partículas procedentes del dispositivo de conexión y/o del aire ambiente.

7 REQUISITOS DE CALIDAD DEL HIDRÓGENO PARA APLICACIONES DISTINTAS DE VEHÍCULOS DE CARRETERA Y APLICACIONES ESTACIONARIAS CON PILAS A COMBUSTIBLE PEM

7.1 Especificación de calidad del combustible

La calidad del hidrógeno suministrado según las especificaciones de ejemplo para aplicaciones distintas de los vehículos de carretera y aplicaciones estacionarias con pilas a combustible PEM deberá cumplir los requisitos de la Tabla 4. Un espacio en blanco indica que no hay característica limitante máxima. La ausencia de una característica limitante máxima en un nivel de calidad listado no implica que el componente esté presente o no, sino que simplemente indica que no existe limitación con respecto a este componente para el cumplimiento de este documento.

NOTA

Otras especificaciones pueden ser igualmente adecuadas para estas aplicaciones.

Tabla 4. Especificación de calidad del combustible para aplicaciones distintas de vehículos de carretera y aplicaciones estacionarias con pilas a combustible PEM.

Constituyentes (ensayo)	Tipo I			Tipo II	Tipo III
	Grado A	Grado B	Grado C	Grado C	
Índice de combustible de hidrógeno ^a (fracción molar mínima, %)	98,0 %	99,90 %	99,995 %	99,995 %	99,995 %
Para-hidrógeno (fracción molar mínima, %)	NE	NE	NE	95,0 %	95,0 %
Impurezas (contenido máximo)					
Gases Totales	20.000 μmol/mol	1.000 μmol/mol	50 μmol/mol	50 μmol/mol	
Agua (H ₂ O) (fracción molar, %)	Sin condensación en cualquier condición ambiental	Sin condensación en cualquier condición ambiental	c	c	
Hidrocarburos totales	100 μmol/mol	Sin condensación en cualquier condición ambiental	c	c	
Oxígeno (O ₂)	b	100 μmol/mol	d	d	
Argón (Ar)	b		d	d	
Nitrógeno (N ₂)	b	400 μmol/mol	c	c	
Helio (He)			39 μmol/mol	39 μmol/mol	
Dióxido de carbono (CO ₂)			e	e	
Monóxido de carbono (CO)	1 μmol/mol		e	e	
Mercurio (Hg)		0,004 μmol/mol			
Azufre (S)	2,0 μmol/mol	10 μmol/mol			
Partículas permanentes	g	f	f	f	
Densidad					f
<p>Siglas</p> <p>NE: No especificado.</p> <p>^a El índice de combustible de hidrógeno se determina restando el “total de gases distintos del hidrógeno” en esta tabla, expresado en porcentaje molar, de 100 por ciento molar.</p> <p>^b Agua, oxígeno, nitrógeno y argón combinados: fracción molar máxima de 1,9 % (19.000 μmol/mol).</p> <p>^c Nitrógeno, agua e hidrocarburos combinados: máximo 9 μmol/mol.</p> <p>^d Oxígeno y argón combinados: máximo 1 μmol/mol.</p> <p>^e CO₂ y CO totales: máximo 1 μmol/mol.</p> <p>^f A acordar entre el proveedor y el cliente.</p> <p>^g El hidrógeno no contendrá polvo, arena, suciedad, gomas, aceites u otras sustancias en cantidad suficiente para dañar la estación de servicio o el vehículo (motor) que se está abasteciendo.</p>					

7.2 Verificación de calidad

7.2.1 Requerimientos generales

El proveedor asegurará, mediante práctica estándar, la verificación del nivel de calidad del hidrógeno. Los procedimientos de muestreo y control se describen en 7.3.

NOTA

La Norma ISO 21087 se puede usar como guía para el protocolo de validación de métodos analíticos para los contaminantes de la Tabla 4.

7.2.2 Pruebas de calificación de producción

Las pruebas de calificación de producción son un análisis único o una serie de análisis que se realizará en el producto para garantizar la confiabilidad de la instalación de producción para suministrar hidrógeno con el nivel de calidad requerido. Esta calificación de producción se puede lograr verificando los registros analíticos del producto del proveedor o, si es necesario, realizando análisis de muestras representativas del producto de la instalación a intervalos apropiados según lo acordado entre el proveedor y el cliente. Las pruebas de calificación de producción podrán ser realizadas por el proveedor o por un laboratorio acordado entre el proveedor y el cliente.

7.3 Muestreo

7.3.1 Tamaño de la muestra

La cantidad de hidrógeno en un único recipiente de muestra será suficiente para realizar los análisis de las especificaciones de calidad del combustible. Si una sola muestra no contiene una cantidad suficiente de hidrógeno para realizar todos los análisis necesarios para evaluar el nivel de calidad, se tomarán muestras adicionales del mismo lote en condiciones similares.

7.3.2 Muestras gaseosas

Las muestras gaseosas serán representativas del suministro de hidrógeno. Las muestras se obtendrán mediante uno de los siguientes procedimientos:

- a) Llenar el recipiente de muestra y los contenedores de entrega al mismo tiempo, en el mismo colector y de la misma manera.
- b) Extraer una muestra del contenedor de suministro a través de una conexión adecuada al recipiente de muestras.

Por razones de seguridad, el recipiente de muestra y el sistema de muestreo deberán tener una presión de servicio al menos igual a la presión en el recipiente de suministro.

- c) Conectar el recipiente de muestra directamente al equipo analítico usando un regulador de presión adecuado para evitar la sobrepresurización de este equipo.
- d) Seleccionar un recipiente representativo de los recipientes llenados en el lote.

7.3.3 Muestras líquidas (vaporizadas)

Las muestras de líquido vaporizado serán representativas del suministro de hidrógeno líquido. Las muestras se obtendrán mediante uno de los siguientes procedimientos:

- a) vaporizando, en la línea de muestreo, hidrógeno líquido del recipiente de suministro;
- b) haciendo fluir hidrógeno líquido desde el contenedor de suministro hacia o a través de un recipiente adecuado en el que se recoge una muestra representativa y luego se vaporiza.

PARA USO EN GRUPO DE TRABAJO DE MERCOSUR

ANEXO A (informativo)

ORIENTACIÓN SOBRE LA SELECCIÓN DEL PUNTO DE FRONTERA PARA APLICACIONES ESTACIONARIAS DE PILAS A COMBUSTIBLE PEM

A.1 OBJETIVO

Se proporciona la siguiente orientación para ayudar en la identificación del punto de frontera y quién es responsable de la calidad del hidrógeno en el punto de frontera.

A.2 GUÍA DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO

El hidrógeno, y el combustible a base de hidrógeno, se pueden producir de varias maneras, incluida el reformado con vapor de combustibles fósiles u otros hidrocarburos, la electrólisis del agua y numerosos métodos biológicos. El hidrógeno, y los combustibles a base de hidrógeno, pueden generarse in situ, generalmente en cantidades relativamente pequeñas, o en un sistema de producción a mayor escala fuera del sitio, y luego transportarse presurizado o como un líquido hasta el punto de uso.

A.3 IDENTIFICACIÓN DEL RESPONSABLE DE LA CALIDAD DEL HIDRÓGENO EN EL PUNTO DE MUESTREO

Se reconoce que el suministro de hidrógeno a un sistema energético de pila a combustible puede involucrar a numerosas partes.

El siguiente texto y figura proporcionan ejemplos con fines informativos, pero no pretenden ser exhaustivos. Los sistemas de suministro de hidrógeno que incorporan diferentes equipos o materias primas de hidrógeno deberían usar estos ejemplos como base para determinar la responsabilidad por la calidad del hidrógeno en el punto de frontera y, si corresponde, en puntos de muestreo adicionales.

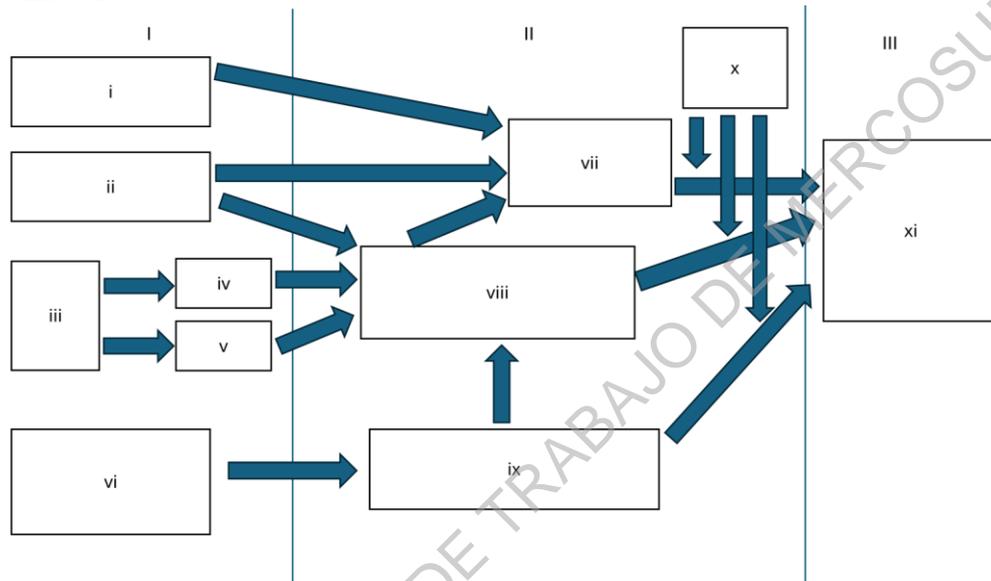
Los siguientes son ejemplos de partes involucradas y responsables del suministro de hidrógeno:

- proveedores de hidrógeno gaseoso (por ejemplo, cilindros, canastas de cilindros o trailers de tubos);
- proveedores de hidrógeno líquido;
- distribuidores de hidrógeno por ductos y tuberías;
- fabricantes de reformadores;
- fabricantes de electrolizadores.

Dependiendo de la forma del suministro de hidrógeno, puede ser necesario que los integradores de sistemas proporcionen equipos entre la fuente de hidrógeno y la entrada al

sistema energético de pila a combustible. Dicho equipo podrá comprender, según corresponda, lo siguiente, como se muestra en la Figura A.1:

- reguladores de presión;
- almacenamiento de hidrógeno líquido, bombas criogénicas y vaporizadores;
- almacenamiento intermedio de hidrógeno gaseoso;
- colectores adicionales desde la fuente de hidrógeno hasta del sistema energético de pila a combustible.



Referencias

I suministro de hidrógeno

II integración de sistema

III sistema energético de pila a combustible

i entrega por tubería

ii entrega por cilindro o trailers de tubos

iii suministro de servicios públicos (gas natural, electricidad, agua, etc.)

iv sistema de procesamiento de combustible

vii regulador de presión

v electrolizador

vi entrega por camión (hidrógeno líquido)

viii Depósito de hidrógeno gaseoso

ix almacén de hidrógeno líquido, bombas criogénicas, vaporizador
xi Sistema energético de pila a combustible PEM

Figura A.1. Ejemplo mostrando el suministro de hidrógeno a un sistema energético de pila a combustible y posición del punto de frontera.

Debe reconocerse que el integrador del sistema es responsable de la calidad del hidrógeno en el punto de frontera, inmediatamente antes de la entrada al sistema energético de pila de combustible. Si el integrador del sistema y el operador del sistema energético de pila a combustible son la misma parte, se debe determinar mediante un acuerdo entre el proveedor de hidrógeno y el cliente uno o más puntos de muestreo alternativos apropiados para cumplir las características de calidad del hidrógeno.

En algunos casos, el integrador del sistema también puede ser el proveedor de hidrógeno, en cuyo caso la responsabilidad de las características de calidad del hidrógeno en el punto de frontera es del proveedor de hidrógeno, a menos que se especifique lo contrario en un acuerdo entre el proveedor de hidrógeno y el cliente.

Cuando el integrador del sistema y el proveedor de hidrógeno sean partes diferentes, la responsabilidad de las características de calidad del hidrógeno en el punto de frontera es del integrador del sistema. En tales casos, los requisitos analíticos (periodicidad, impurezas y punto de prueba de interfaz apropiado) para el suministro de hidrógeno deben determinarse mediante un acuerdo entre el proveedor de hidrógeno, el integrador del sistema y el cliente.

También puede darse el caso de que el proveedor de hidrógeno proporcione algunos aspectos de integración in situ, pero no interactúa directamente con el sistema energético de pila a combustible. En tales casos, el proveedor de hidrógeno es responsable de cumplir con las características de calidad del hidrógeno en la interfaz del proveedor con el equipo adicional que se conecta al sistema energético de pila a combustible, mientras que el integrador que interactúa con el sistema energético de pila a combustible es responsable de los requisitos analíticos de la calidad del hidrógeno en el punto de frontera. Los requisitos analíticos (periodicidad, impurezas) en cualquier punto de muestreo adicional apropiado para el sistema deben especificarse mediante un acuerdo entre el integrador del sistema y el proveedor de hidrógeno.

Cuando el mantenimiento del sistema deba ser realizado por una parte adicional, los requisitos para el aseguramiento de la calidad del hidrógeno una vez finalizado dicho mantenimiento debe determinarse mediante un acuerdo entre el integrador del sistema, la parte responsable del mantenimiento y el operador de la pila a combustible.

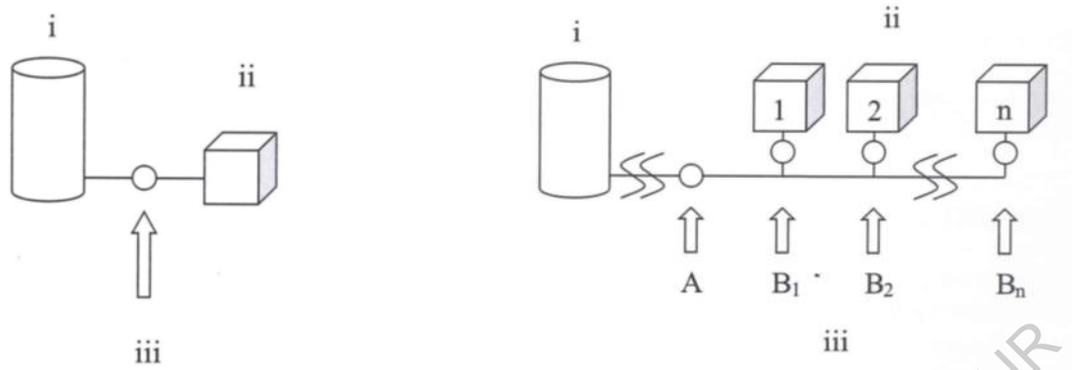
A.4 SELECCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO

En el caso de un sistema energético de una pila a combustible, como se muestra en la Figura A.2 a), el punto de frontera debe estar lo más cerca posible de la entrada del combustible al sistema de pila a combustible.

En el caso de un sistema de energía de múltiples pilas a combustible en paralelo, como se muestra en la Figura A.2 b), la ubicación del punto de frontera debería determinarse mediante un acuerdo entre el integrador del sistema y el operador de la pila a combustible.

Ejemplos de ubicación del punto de muestreo pueden incluir:

- Punto de frontera A – el suministro para los sistemas energéticos de pila a combustible 1 a n.
- Un único punto de frontera entre B_1 y B_n que representa el peor de los casos.
- Todos los puntos de frontera B_1 , hasta B_n .



a) Sistema energético de una pila a combustible.

b) Sistema energético de múltiples pilas a combustible en paralelo.

Referencias

- i equipos de suministro de hidrógeno y combustible a base de hidrógeno
- ii Sistema(s) energético(s) de pila a combustible PEM
- iii punto(s) de frontera

Figura A.2. Ubicación del punto de muestreo.

PARA USO EN GRUPO DE TRABAJO DE MERCOSUR

ANEXO B (informativo)

JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DE IMPUREZAS DEL HIDRÓGENO QUE SE MEDIRÁN PARA APLICACIONES ESTACIONARIAS DE PILAS A COMBUSTIBLE PEM

B.1 CONTENIDO DE AGUA

El agua (H_2O) generalmente no afecta el funcionamiento de una pila a combustible; sin embargo, proporciona un mecanismo de transporte para contaminantes solubles en agua como K^+ y Na^+ cuando están presentes en forma de aerosol. Se recomienda que tanto el K^+ como el Na^+ no excedan los $0,05 \mu\text{mol/mol}$ para la categoría 3. Además, el agua puede representar un problema en condiciones ambientales bajo cero y afectar las válvulas. Por lo tanto, el agua debe permanecer gaseosa durante las condiciones de temperatura ambiente encontradas.

B.2 CONTENIDO TOTAL DE HIDROCARBUROS

Los diferentes hidrocarburos tienen diferentes efectos sobre el rendimiento de las pilas a combustible. Generalmente, los hidrocarburos aromáticos se adsorben más fuertemente en la superficie del catalizador que los alcanos, inhibiendo el acceso al hidrógeno. El metano (CH_4) se considera un gas inerte ya que su efecto sobre el rendimiento de la pila a combustible es diluir el flujo de hidrógeno.

B.3 CONTENIDO DE OXÍGENO

El oxígeno (O_2) en bajas concentraciones no afecta negativamente el funcionamiento del sistema energético de pila a combustible; pero una alta concentración de oxígeno provoca la degradación de la pila a combustible.

B.4 CONTENIDOS DE HELIO, NITRÓGENO Y ARGÓN

Los componentes inertes, como el helio (He), el nitrógeno (N_2) y el argón (Ar), no afectan negativamente al funcionamiento de los componentes de la pila a combustible ni al sistema energético de la pila a combustible. Sin embargo, diluyen el gas hidrógeno.

B.5 CONTENIDO DE DIÓXIDO DE CARBONO

El dióxido de carbono (CO_2) normalmente no afecta el funcionamiento de las pilas a combustible. Este diluye el hidrógeno, afectando así la eficiencia del sistema energético de la pila a combustible. Además, concentraciones de CO_2 superiores al 25 % en fracción molar se pueden convertir catalíticamente mediante una reacción inversa de desplazamiento de agua y gas en CO lo que en consecuencia envenena el catalizador. Sin embargo, en condiciones normales de funcionamiento, es muy poco probable que haya niveles tan altos de CO_2 en el ánodo.

B.6 CONTENIDO DE MONÓXIDO DE CARBONO

El monóxido de carbono (CO) es un veneno catalítico potente que afecta negativamente al rendimiento de las pilas a combustible y, por lo tanto, debe mantenerse en niveles muy bajos en el hidrógeno. Si bien el impacto en el rendimiento puede revertirse cambiando las condiciones operativas y/o la composición del gas, estas medidas pueden no ser prácticas. En aplicaciones de reformado (categorías 1 y 2), el impacto de los niveles inherentemente más altos de CO se mitiga mediante la selección de materiales y/o el diseño y operación del sistema; sin embargo, el efecto a largo plazo del CO en la durabilidad de la pila a combustible es una preocupación, específicamente para cargas bajas de catalizador anódico.

B.7 CONCENTRACIÓN TOTAL DE AZUFRE

Los compuestos que contienen azufre son venenos para los catalizadores que, incluso en niveles muy bajos, pueden provocar algunos efectos irreversibles en el rendimiento de las pilas a combustible. Los compuestos de azufre específicos mínimos que deben incluirse en las pruebas son: sulfuro de hidrógeno (H₂S), sulfuro de carbonilo (COS), disulfuro de carbono (CS₂), mercaptanos (por ejemplo, metilmercaptano), que pueden encontrarse en el hidrógeno reformado a partir de gas natural. Se debe monitorear la concentración total de azufre. A menor carga de catalizador son particularmente susceptibles a los contaminantes que envenenan el catalizador.

B.8 CONTENIDO DE FORMALDEHÍDO Y ÁCIDO FÓRMICO.

El formaldehído (HCHO) y el ácido fórmico (HCOOH) tienen un efecto similar al CO sobre el rendimiento de las pilas a combustible y, por lo tanto, se consideran contaminantes que causan efectos reversibles. El efecto de HCHO y HCOOH sobre el rendimiento de la pila a combustible puede ser más severo que el del CO debido a una cinética de recuperación más lenta y sus especificaciones son más bajas que las del CO. A menor carga de catalizador son particularmente susceptibles a los contaminantes que envenenan el catalizador.

B.9 CONTENIDO DE AMONÍACO

El amoníaco (NH₃) causa algunos efectos irreversibles en el rendimiento de la pila a combustible al contaminar la membrana/ionómero de intercambio de protones y reaccionar con los protones en la membrana/ionómero para formar iones NH₄⁺. Los datos de prueba para la tolerancia al amoníaco deben incluir las capacidades de intercambio iónico de la membrana y/o los electrodos. Cargas de catalizador más bajas implican menores capacidades de intercambio iónico dentro del electrodo.

B.10 CONTENIDO TOTAL DE COMPUESTOS HALOGENADOS

Los compuestos halogenados provocan efectos irreversibles en el rendimiento. Las fuentes potenciales incluyen procesos de producción de cloro-álcali y refrigerantes utilizados en el procesamiento y agentes de limpieza.

B.11 PARTÍCULAS

Se especifican una concentración y un tamaño máximos de partículas para garantizar que los filtros no se obstruyan y/o que las partículas no entren al sistema energético de pila a combustible PEM y afecten el funcionamiento de las válvulas y las pilas a combustible. Los iones de potasio y sodio presentes en los aerosoles causan efectos irreversibles en el rendimiento al contaminar la membrana/ionómero de intercambio de protones. Las partículas que contienen hierro, incluso en concentraciones muy bajas, causan una degradación severa de la membrana/ionómero.

PARA USO EN GRUPO DE TRABAJO DE MERCOSUR

ANEXO C (informativo)

ADSORCIÓN POR OSCILACIÓN DE PRESIÓN (PSA: *PRESSURE SWING ADSORPTION*) Y APLICABILIDAD DEL CO COMO INDICADOR PARA APLICACIONES ESTACIONARIAS DE PILAS A COMBUSTIBLE PEM

C.1 INDICADOR

Principales impurezas de los diferentes procesos de producción y purificación de H₂

Para la producción y purificación de reformado del metano con vapor (SMR)-adsorción por oscilación de presión (PSA), el CO puede servir como indicador de la presencia de otras impurezas enumeradas en la Tabla 3 porque tiene la mayor probabilidad de estar presente en un combustible producido mediante el proceso dado. La confirmación de que el contenido de CO es inferior a su límite especificado indica que otras impurezas, excepto las impurezas inertes, están presentes en cantidades inferiores a sus límites especificados.

El contenido máximo de impurezas inertes en el producto se puede estimar usando el contenido máximo de impurezas inertes en la materia prima especificada por el proveedor y el aumento de flujo en el sistema SMR y la disminución de flujo en el sistema PSA. El aumento de flujo en el sistema SMR y la disminución de flujo en el sistema PSA se pueden calcular a partir de la composición de la materia prima, la proporción de vapor a carbono y la tasa de conversión de hidrógeno.

C.2 SEGUIMIENTO EN LÍNEA DEL INDICADOR.

Se recomienda seriamente el monitoreo en línea de CO para mostrar que su contenido en el hidrógeno es menor que la especificación en tiempo real, lo que indica que otros contaminantes son menores que sus especificaciones en tiempo real. Para ello se pueden usar analizadores de CO por infrarrojos disponibles en el mercado. En el caso de un sistema SMR-PSA, el analizador debe colocarse justo después del sistema SMR-PSA para evitar la contaminación del equipo corriente abajo.

C.3 ANÁLISIS POR LOTES

Como respaldo del monitoreo en línea del contenido de CO, también se recomienda el muestreo por lotes del hidrógeno y los análisis de laboratorio de todos los componentes de impurezas que se enumeran en la Tabla 3. La muestra por lotes debe tomarse en el punto de frontera. La frecuencia del muestreo y análisis la determina el proveedor de hidrógeno. Se deben aplicar los métodos analíticos descritos en 6.2 y 6.3.