



Estudio para el Desarrollo de una Propuesta Técnica para el Reglamento de la Calidad del Hidrógeno para Chile

Diciembre 2024



Edición:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn • Alemania

Nombre del proyecto:
Team Europe Desarrollo del Hidrógeno Renovable en Chile (RH2)

Marchant Pereira 150
7500654 Providencia
Santiago • Chile
T +56 22 30 68 600
I www.giz.de

Responsable:
George Cristodorescu

En coordinación:
Ministerio de Energía de Chile
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II
Santiago de Chile
T +56 22 367 3000
I www.energia.gob.cl

Registro de Propiedad Intelectual Inscripción: En trámite.
ISBN: 978-956-8066-73-4. Primera edición digital: diciembre 2024

Fotografía e ilustraciones:
[@elvisvielma](https://www.instagram.com/elvisvielma)

Cita:

Título: Propuesta técnica para el Reglamento de calidad del hidrógeno para Chile
Autor(es): GIZ, Quinetic SpA
Revisión y modificación: Patricio Bastías, Pablo Tello.
Edición: Pablo Tello
Santiago de Chile, 2024.
38 Páginas
Hidrógeno – Calidad - Aseguramiento – Control



Aclaración:

Esta publicación ha sido preparada por encargo del Proyecto "Team Europe para el Desarrollo del Hidrógeno Renovable en Chile", el cual es cofinanciado por la Unión Europea y el Ministerio Federal de Desarrollo Económico y Energía de Alemania (BMWE). La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH es una de las agencias implementadoras de la presente iniciativa y el Ministerio de Energía de Chile es la institución contraparte. Sin perjuicio de lo anterior, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile, GIZ, la Unión Europea o el BMWE. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile, GIZ, la Unión Europea o el BMWE.
Santiago de Chile, 31 de diciembre de 2024.

Contenido

Tablas.....	4
Figuras	4
1 Título 1, Disposiciones Generales	7
1.1 Objetivos y alcance	7
2 Título 2, Terminología y Referencias Normativas	8
2.1 Definiciones	8
2.2 Normas técnicas nacionales aplicables	10
2.3 Normas técnicas internacionales aplicables.....	10
3 Título 3, Responsabilidades	10
3.1 Responsable de la calidad del hidrógeno	12
3.2 Responsabilidad del operador	12
3.3 Informe de Aseguramiento de la Calidad (IAC).....	13
3.4 Cambio de operador de instalación de hidrógeno	13
3.5 Responsables ante reclamos por la calidad del hidrógeno.....	13
3.6 Registros del plan de aseguramiento de la calidad del hidrógeno	13
3.7 Responsabilidad del laboratorio de certificación de calidad.....	14
4 Clasificación y requisitos de calidad del hidrógeno como combustible (ISO)	14
4.1 Clasificación del hidrógeno	14
4.2 Tipos de hidrógeno	14
4.3 Grados del hidrógeno.....	14
4.4 Requisito de calidad del hidrógeno de tipos I y II, hidrógeno Grado D	15
4.5 Requisito de calidad de hidrógeno Tipo I, Grado E, categorías 1 a 3	15
4.6 Requisito de calidad de hidrógeno para otras aplicaciones diferentes de celdas de combustible PEM para vehículos o estacionarias	15
5 Aseguramiento de la calidad del hidrógeno combustible	16
5.1 Plan de aseguramiento de calidad	17
5.2 Contenido del Plan de aseguramiento de calidad	17
5.3 Protocolos de control de calidad	18
5.4 Informe de Aseguramiento de Calidad (IAC).....	19

6 Sistemas de comprobación de la calidad.....	19
6.1 Requerimientos de método de análisis y técnicas analíticas.....	20
6.2 Reportabilidad.....	21
6.3 Base de datos de contaminantes de hidrógeno	22
6.4 Acreditación del laboratorio	22
7 Muestreo	23
7.1 Toma de muestras	23
7.2 Frecuencia de muestreo.....	24
8 Comunicaciones e informes	24
8.1 De los responsables de la calidad del hidrógeno.....	24
8.2 De los laboratorios	25
8.3 Incidentes a informar	25
9 Fiscalización y sanciones	25
10 Disposiciones transitorias	26
11 Apéndices	27
11.1 Análisis del protocolo de control de calidad requerido por las normas NCh3888/8, ISO 19880-8 y EN 17124 27	
11.2 Informes de aseguramiento de la calidad del hidrógeno combustible	28

Tablas

Tabla 1 Normativa internacional de calidad del hidrógeno	6
Tabla 2 Comparación del contenido de las normas EN 17124 e ISO 19880-8	16

Figuras

Figura 3-1 Ejemplo de generación de IAC (fuente: generación propia basado en esquema SEC para GLP) 13	
Figura 5-1 Ejemplo de esquema de control de calidad prescriptivo (Fuente: elaboración propia)	18
Figura 5-2 Ejemplo de esquema de control basado en evaluación de riesgo (Fuente: elaboración propia) ..	19
Figura 5-3 Métodos de producción y contaminantes a analizar, adaptado de ISO 19880-8 Anexo C	19
Figura 6-1 Efecto de los contaminantes sobre la celda de combustible y otros componentes	20

Figura 6-2 Capacidad de los métodos analíticos para analizar impurezas según ISO 14687:2019 basada en el límite de detección (Beurey, y otros, 2021). 21

Figura 7-1 Ejemplo de abastecimiento de H2 a un sistema de potencia de CDC y la posición de los puntos de muestreo (boundary points), (Ref.: Adaptado ISO 14687 Anexo A1) 23

Prefacio

Al momento de iniciar el presente estudio, se entendía que el instrumento normativo a trabajar era un reglamento. En el transcurso de la elaboración del trabajo y las discusiones sostenidas en las distintas instancias quedó de manifiesto que no necesariamente se debe generar un reglamento, pero independiente del tipo de instrumento normativo que surja, todo el material analizado y elaborado ha quedado plasmado en esta propuesta.

Introducción

El presente documento compila el trabajo presentado por los consultores para el desarrollo del reglamento propuesto a discusión para las reuniones del Comité Técnico. Dentro de cada título de la proposición de reglamento, el texto se presenta en dos clases diferenciadas por el color de los caracteres. Lo expresado en cursiva explica el contenido que se propone para el título correspondiente, incluyendo referencias y comentarios para apoyar la propuesta. Lo escrito en color negro, es el borrador de la propuesta para el respectivo título. Este texto es el resultado del trabajo del Comité Técnico, a partir de un borrador base propuesto por el consultor, y considerando los aportes de la Mesa Técnica y la Mesa Público Privada. Dado que el Comité Técnico aún está trabajando en algunos elementos de la regulación, se resalta el hecho de que este documento servirá de base para el desarrollo del texto final del reglamento.

Para la selección de las normas de referencia, se realizó una búsqueda de normas de calidad, la que arrojó el resultado que se presenta en la Tabla siguiente:

Tabla 1 Normativa internacional de calidad del hidrógeno

Norma	Título	Año
SAE J2719	Hydrogen Fuel Quality for Fuel Cell Vehicles	2020
AS ISO 14687	Hydrogen fuel quality – Product specification	2020
ISO 14687	Hydrogen Fuel – Product Specification	2019
ISO 19880-8	“Gaseous hydrogen — Fuelling stations Part 8: Fuel quality control	2019
CGA G-5.3	Commodity Specification for Hydrogen	2017
EN 17124	Hydrogen fuel — Product specification and quality assurance - Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles.	2022
CNS 16012-2	Hydrogen fuel – Product specification – Part 2: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles.	2017

Fuente: Elaboración propia

Del análisis de las normas antes señaladas se puede concluir que:

1. Las normas de calidad ISO, EN y SAE en esencia son equivalentes. La ISO 14687 es la más completa en términos de la variedad y tipos de calidades de H2.
2. La norma EN 17124 es equivalente a las ISO 14687 e ISO 19880-8 en conjunto. En efecto, la ISO 14687 especifica los requisitos de composición de los distintos tipos, grados y categorías de hidrógeno, y la ISO 19880-8 especifica los requisitos de control de calidad del hidrógeno para uso en vehículos con celdas de combustible tipo PEM. La norma EN 17124, en cambio, contiene tanto los requisitos de composición como las especificaciones del control de calidad, pero sólo para el hidrógeno destinado a los vehículos con celdas de combustible tipo PEM.
3. Hay pocos laboratorios a nivel internacional en condiciones de implementar todos los análisis requeridos por la norma ISO 14687; sin embargo, la mayoría no ha implementado aún los análisis más complejos y menos demandados.

4. Los proveedores de vehículos nacionales consideran que la calidad del hidrógeno es poco importante aún.
5. Toyota exigió a su distribuidor preocuparse por la calidad, lo que obligó a contratar los servicios de Airborne Labs en Estados Unidos.
6. De la experiencia de Airborne Labs con Toyota Chile, se puede inferir que es factible enviar muestras para análisis de H2 a laboratorios extranjeros y que no existen impedimentos logísticos; sin embargo, el análisis completo es muy caro¹.

Luego, para abordar el desarrollo del presente estudio se consideró la siguiente estrategia general:

1. Desarrollar la regulación refiriendo la norma ISO 14687 como base para la definición de tipos y grados de hidrógeno, y límites de los contaminantes.
2. Desarrollar los criterios de selección de los contaminantes a controlar de acuerdo a la norma EN 17124 o ISO 19880-8. Esta selección permitiría balancear el costo del potencial perjuicio del incumplimiento de la norma de calidad con el costo del control de ella.
3. Considerar conceptos de flexibilidad para adecuarse a los avances en las tecnologías del hidrógeno, y para permitir que proveedores y clientes puedan dar cumplimiento.
4. Considerar flexibilidad para los procesos de acreditación de laboratorios nacionales y certificación de productos para el desarrollo de capacidades para realizar ensayos de calidad de hidrógeno.
5. Se recomienda aplicar un concepto similar de flexibilidad para las empresas que desarrollen control de calidad o análisis de riesgo para la cadena de valor del H2.

Finalmente, en Anexo 1², se presenta el texto borrador de la propuesta técnica de reglamento de la calidad del hidrógeno.

1 Título 1, Disposiciones Generales

1.1 Objetivos y alcance

1.1.1 Objetivo del Reglamento

Asegurar la calidad del hidrógeno que se expende a público, para proteger los equipos que usan hidrógeno.

1.1.2 Alcance del Reglamento

El presente documento cubre los tipos y grados de hidrógeno señalados en la norma ISO 14.687:2019 a fin de asegurar la calidad del hidrógeno que se expende a público. *Lo anterior implica que no cubre al H2 proveniente de “fuentes biológicas”³.*

1.1.3 Exclusiones

El presente documento de calidad del hidrógeno no es obligatorio para transacciones, tratos o contratos entre un proveedor y un adquiriente.

¹ Basado en cifras dadas por Airborne Lab., el Consultor estima un costo total del orden de USD 20.000, incluyendo el muestreo; esto representa el 1% del costo de capital de una ESH con un surtidor de hidrógeno. Este valor debería bajar en la medida que aumente la demanda por estos análisis.

²² Documento Word “Entregable 3 Anexo 1 Propuesta técnica de reglamento.docx”.

³ Las fuentes biológicas son aquellas que usan biomasa para producir hidrógeno. Los procesos pueden ser termoquímicos o biológicos. Los procesos termoquímicos son la reforma de syngas de biomasa o de biogás, y la pirólisis de biomasa. Los procesos biológicos utilizan el metabolismo microbiano para producir hidrógeno. Se pueden distinguir cuatro categorías de procesos biológicos: 1) fotólisis de agua, 2) foto-fermentación, 3) fermentación oscura y 4) foto co-fermentación oscura (combinación de los dos anteriores). Más antecedentes en Xu, X., Zhou, Q. and Yu, D. . The future of hydrogen energy: Bio-hydrogen production technology, international Journal of hydrogen energy 47 (2022) 33677 – 33698.

Las exigencias y requisitos de calidad del hidrógeno indicados en el presente reglamento no cubren al hidrógeno proveniente de fuentes biológicas, por lo que quedan fuera del alcance del presente instrumento. *(nota al pie de Tabla 1 de ISO 14.687:2019 OTE ‘Biological sources of hydrogen can contain additional constituents (e.g. siloxanes or mercury) that can affect the performance of the various applications, particularly PEM fuel cells. However, these are not included in most of the following specifications due to insufficient information’).*

1.1.4 Buenas prácticas

Este documento no limita a los propietarios y operadores de instalaciones de hidrógeno que expenden hidrógeno al público a implementar otras medidas preventivas, además de las exigidas aquí, para garantizar la calidad del hidrógeno, siguiendo las buenas prácticas de ingeniería reconocidas a nivel internacional en la industria del hidrógeno.

2 Título 2, Terminología y Referencias Normativas

2.1 Definiciones

Para los efectos del presente reglamento los siguientes términos relativos a las instalaciones de hidrógeno y operaciones asociadas tendrán el significado y alcance que en este artículo se indica:

1. Cadena de valor. Corresponde al conjunto de etapas de comercialización de un producto; corrientemente estas son importación, producción, transporte, almacenamiento, distribución, y expendio (RES 19049/2017, art. 1).
2. Celda de Combustible o Pila de Combustible (CDC o PDC). Dispositivo electroquímico que convierte la energía química de un combustible y de un oxidante en energía eléctrica (corriente continua), calor y otros productos de la reacción.
3. Constituyente: especie química o componente presente en una mezcla de gases
4. Contaminante. Impureza que afecta negativamente a los componentes del sistema de uso del combustible o del sistema de almacenamiento de hidrógeno.
5. Control de calidad no rutinario. Control de calidad realizado en forma no periódica si no que por evento. Un evento que ocasione un control de calidad no rutinario es aquel que puede provocar la introducción de impurezas en el hidrógeno. Cada evento requerirá una lista propia de impurezas críticas a analizar.
6. Control de calidad rutinario. Control de calidad realizado de forma periódica, una vez en cada período y lugar. La metodología seleccionada en el plan de aseguramiento de la calidad del hidrógeno determina el tipo y la frecuencia de los muestreos y análisis rutinarios. *“Routine analysis is performed on a periodic basis once every specified time period or once for each lot or batch. The methodology selected in the hydrogen quality assurance plan determines the type and frequency of the routine analysis.”* (ISO 19880-8, sec. 9).
7. Especies indicadoras. Uno o más constituyentes en la corriente de gas que pueden indicar la presencia de otros productos químicos. La especie indicadora es más fácil de medir que los contaminantes cuya presencia indica.
8. Estación Surtidora de Hidrógeno (ESH). *A definir con SEC y confrontar con reglamento de ESH.*
9. Evaluación de riesgo. Estimación del valor cuantitativo o cualitativo del riesgo relacionado con una situación específica y una amenaza reconocida, también llamada peligro.

10. Expendio de hidrógeno. Venta al por menor/público⁴.
11. Impureza. Cualquier constituyente distinto al hidrógeno.
12. Impureza crítica. Impureza con nivel de riesgo superior a lo tolerable.
13. Informe de aseguramiento de la calidad, IAC. Documento relacionado a la calidad del hidrógeno, emitido por el que transfiere la propiedad del hidrógeno a otro.
14. Informe de aseguramiento de la calidad de la producción de hidrógeno (IACP). *Se revisará con la SEC. Una definición inicial puede ser:* Documento-donde el responsable de la calidad del hidrógeno producido declara el método de producción, declara que se ha ejecutado correctamente el plan de aseguramiento de calidad y presenta el último análisis de los contaminantes de acuerdo a lo establecido en dicho plan.
15. Informe de aseguramiento de la calidad de almacenamiento y transporte de hidrógeno (IACAT). *Se revisará con la SEC. Una definición inicial puede ser:* Documento IACAT; ya sea informe o certificado, en el que se declara que el hidrógeno ha sido almacenado y transportado en tanques o conductos dedicados exclusivamente al hidrógeno de la calidad que se garantiza y que, en un margen de tiempo definido por el presente documento, no se realizaron procedimientos que hayan remplazado el hidrógeno de partes del sistema por otros gases.
16. Informe de calidad del hidrógeno. Informe emitido por el laboratorio que analiza la muestra de hidrógeno para determinar la cantidad de contaminantes, de acuerdo con el protocolo de control de calidad y la sección 9 de la norma ISO 21087:2019.
17. Plan de aseguramiento de calidad. Documento que organiza y gestiona las acciones tendientes a garantizar que la calidad del hidrógeno que se dispense a público cumpla con los requisitos establecidos por el presente reglamento. Su contenido mínimo deberá seguir los lineamientos según lo establecido en la norma NCh3888/8:2024, o ISO 19880-8:2019 y sus modificaciones, para toda la cadena de valor.
18. Protocolo prescriptivo. Procedimiento de control de calidad que establece los contaminantes que se deben analizar y la frecuencia (control rutinario) o evento (control no rutinario) que gatilla los análisis, basado en una regla establecida por la autoridad o una norma aceptada por la autoridad. El protocolo se define para casos específicos previsibles.
19. Protocolo basado en análisis de riesgo. Procedimiento de control de calidad que establece los contaminantes que se deben analizar y la frecuencia (control rutinario) o evento (control no rutinario) que gatilla los análisis, basado en una evaluación de riesgo, realizada de acuerdo con las normas ISO 19880-8:2019 o NCh 3888/8:2024, aceptada por la autoridad.
20. Proton Exchange Membrane (PEM). Membrana de intercambio de protones. También ocasionalmente la definen como Polymer Exchange Membrane

⁴ Definición tomada de [expendio](#) | [Definición](#) | [Diccionario de la lengua española](#) | RAE - ASALE. Esta palabra aparece, al menos, en los siguientes documentos normativos, pero sin definición: Decreto 456/1997 EXENTO ESTABLECE REQUISITOS PARA COMBUSTIBLE QUE INDICA, MINISTERIO DE ECONOMÍA; Decreto 132/1979 ESTABLECE NORMAS TECNICAS DE CALIDAD Y DE PROCEDIMIENTO DE CONTROL APLICABLES AL PETROLEO CRUDO, A LOS COMBUSTIBLES DERIVADOS DE ESTE Y A CUALQUIER OTRA CLASE DE COMBUSTIBLES, MINISTERIO DE MINERÍA; Decreto 60/2012 ESTABLECE ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DE COMBUSTIBLES QUE INDICA, MINISTERIO DE ENERGÍA; Resolución 19049/2017 EXENTA ESTABLECE LAS ACTIVIDADES MÍNIMAS QUE DEBERÁN REALIZAR LAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS PARA EL CONTROL PERMANENTE DE LA CALIDAD DE LOS COMBUSTIBLES LÍQUIDOS, MINISTERIO DE ENERGÍA, SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES.

21. Punto de muestreo. Lugar entre el sistema de suministro de hidrógeno y el sistema que lo utiliza, acondicionado para extraer las muestras requeridas para verificar la calidad del combustible.
22. Riesgo. Combinación de la probabilidad de ocurrencia de un daño y la gravedad (consecuencia) de ese daño-
23. Superintendencia: Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)

Para otras definiciones relativas a materias contenidas en este documento, se deberá consultar la terminología específica contenida en las normas técnicas nacionales y extranjeras aplicables por disposición del presente texto normativo, así como también aquellas disposiciones complementarias de la Superintendencia. En caso de definiciones contradictorias, prevalecerá lo indicado por la Superintendencia. *(frase que se menciona en el DS 13).*

2.2 Normas técnicas nacionales aplicables

Para los efectos del presente documento, las normas nacionales referenciadas en el texto son las siguientes:

1. Norma Chilena Oficial 2187.Of92, Gases comprimidos – Hidrógeno – Clasificación, requisitos de calidad y métodos de muestreo y análisis.
2. Norma Chilena NCh3888/1:2024 ISO 19880-1:2020, Hidrógeno gaseoso - Estaciones de servicio - Parte 1: Requisitos generales
3. Norma Chilena NCh 3888/8:2024, Hidrógeno gaseoso - Estaciones de servicio - Parte 8: Control de calidad del combustible
4. *Norma Chilena NCh3813 - ISO14687-2024, Calidad del Hidrógeno como combustible – Especificación de producto. Se agrega ya que está en consulta pública por parte del INN a la fecha de término de este informe.*

2.3 Normas técnicas internacionales aplicables

Las normas técnicas internacionales que resultan aplicables al presente documento, son las siguientes:

1. EN 17124:2022, Hidrógeno combustible. Especificación de producto y garantía de calidad para los puntos de suministro de hidrógeno que dispensan hidrógeno gaseoso. Aplicaciones que utilizan las pilas de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM) para los vehículos
2. ISO 14687:2019, Hydrogen Fuel Quality - Product specification
3. ISO 21087:2019, Gas analysis — Analytical methods for hydrogen fuel — Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles
4. ISO 19880-1:2019, Gaseous hydrogen — Fuelling stations - Part 1: General requirements
5. ISO 19880-8:2019, Hidrógeno gaseoso - Gaseous hydrogen — Fuelling stations- Part 8: Fuel quality control.
6. ISO 17025:2017, Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

3 Título 3, Responsabilidades

La mayoría de los decretos y resoluciones relativas a la calidad de los combustibles consultadas para este documento de calidad del hidrógeno no especifica explícitamente quienes son los responsables de cumplir las especificaciones de ellos. Solo el DTO 132/1979, las resoluciones RES 11898/2022 y RES 19049/2017 explicitan los responsables de la calidad de los combustibles líquidos que regulan.

El DTO 132/1979 establece que “El control permanente de la calidad de los combustibles indicados en la sección 1º será responsabilidad de las empresas distribuidoras, ...” (art. 4), sin definir explícitamente quienes son los distribuidores. La RES 19049/2017, que complementa al DTO 132/1979 estableciendo requerimientos detallados para el control de calidad de los combustibles líquidos, en el considerando 11 expande la responsabilidad del distribuidor a toda la cadena de valor. En efecto, este considerando dice “Que, lo

dispuesto en la sección 4º del decreto supremo N° 132, de 1979, será exigible para todas las empresas y personas naturales que en el desarrollo de sus actividades económicas efectúan labores de distribución de combustibles líquidos que impliquen la transferencia de la propiedad de esos productos, en cualquier etapa de la cadena, hasta el consumidor final.”. Consecuentemente, en su artículo 1 esta resolución establece las actividades mínimas de control de calidad en las cinco etapas previsibles de la cadena de valor: 1) importación, 2) producción, 3) transporte, 4) almacenamiento, y 5) venta al público, también llamado expendio; con esto, implícitamente le asigna la responsabilidad del control de calidad al operador de cada una de estas etapas. Adicionalmente, la RES 11898/2022, que complementa la resolución anterior con mayores detalles en el control de calidad en “las instalaciones destinadas al abastecimiento a vehículos”, refuerza la extensión de la responsabilidad a los operadores de estas instalaciones. En efecto, el considerando 10 de la RES 11898/2022 repite textualmente el considerando 11 de la RES 19049/2017 y, además, en la sección 1 establece “El distribuidor de una instalación de CL de abastecimiento a vehículos deberá dar cumplimiento a las disposiciones del presente procedimiento de monitoreo de la calidad de los CL, ...”. Una interpretación de esto último es que “El distribuidor de una instalación de CL de abastecimiento a vehículos ...” es el operador de la instalación de CL de abastecimiento a vehículos, lo que debe ser aclarado por la SEC.

En resumen, las empresas que operan cualquier etapa de la cadena de valor de los combustibles líquidos, por el acto de hacer la “transferencia de propiedad de estos productos” son responsables del control de calidad del producto transferido; sin embargo, el tipo de control de calidad dependerá de la etapa de la cadena de valor, como indican las dos resoluciones mencionadas.

Para los efectos de este documento, se propone asignar la responsabilidad del control de calidad del hidrógeno “al que transfiera la propiedad del combustible a cualquier título, entre las etapas de la cadena de valor donde haya transferencia de su propiedad”, en lugar del “distribuidor”. Las ‘etapas de la cadena de valor’ serán una o más de las cinco que contempla la RES 19049/2017, es decir, 1) importación, 2) producción, 3) transporte, 4) almacenamiento, y 5) expendio o distribución. Es necesario definir la responsabilidad para que los responsables asuman su obligación, y para aplicar sanciones cuando la fiscalización muestre algún incumplimiento del reglamento de calidad.

Los documentos consultados se listan a continuación y se resume brevemente cada uno.

1. DTO 132/1979 MMIN “NORMAS TECNICAS Y DE CALIDAD Y PROCEDIMIENTO DE CONTROL, APLICABLES AL PETROLEO CRUDO, A LOS COMBUSTIBLES DERIVADOS DE ESTE Y A CUALQUIER OTRA CLASE DE COMBUSTIBLES”.

El DTO 132/1979 aplica a los combustibles derivados del petróleo, gas natural, gas licuado y gas de cañería. No indica los requisitos específicos de estos combustibles, refiriéndolos a las “normas oficiales” vigentes, sin mencionarlas. También indica que, de no existir normas oficiales, se podrán usar normas internacionales. Por otro lado, especifica cómo se deben identificar los combustibles comunes (nombre o designación) para todos los aspectos comerciales y operativos (art. 3). Asigna la responsabilidad de control de calidad a las “empresas distribuidoras”, sin definirlas, y asigna la fiscalización a la SEC. También indica que cualquier persona natural y jurídica que cumpla con ciertos requisitos puede comercializar estos combustibles. Finalmente, establece varios requisitos para la comercialización, manejo y rotulación de cilindros de gas licuado.

2. RES 19049/2017 MEN/SEC “ESTABLECE LAS ACTIVIDADES MÍNIMAS QUE DEBERÁN REALIZAR LAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS PARA EL CONTROL PERMANENTE DE LA CALIDAD DE LOS COMBUSTIBLES LÍQUIDOS”

Establece los procedimientos detallados de control de calidad de los combustibles regulados por el DTO 132 en toda la cadena de valor, indicando los responsables de la calidad y los requisitos de los laboratorios.

3. RES 11898/2022 MEN/SEC “ESTABLECE PROCEDIMIENTO PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS COMBUSTIBLES LÍQUIDOS EN INSTALACIONES DESTINADAS AL ABASTECIMIENTO A VEHÍCULOS Y REQUISITOS DE LABORATORIOS QUE INDICA”.

Perfecciona la RES 19049/2017 en el control de calidad de los combustibles dispensado a vehículos.

4. DTO 11/2008 MECFR “APRUEBA DEFINICIONES Y ESPECIFICACIONES DE CALIDAD PARA LA PRODUCCIÓN, IMPORTACIÓN, TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO, DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE BIOETANOL Y BIODIESEL”.

No menciona a los distribuidores, ni responsables, solo entrega especificaciones y restricciones para mezclar combustibles.

5. DTO 60/2012 MEN “ESTABLECE ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DE COMBUSTIBLES QUE INDICA”.

Establece requisitos detallados para las gasolinas, petróleo diésel, petróleos combustibles y kerosene, para regiones distintas a la RM. Indica que en las regiones o zonas con planes de descontaminación podrán exigirse especificaciones distintas. Las especificaciones requeridas se complementan con normas nacionales de calidad de combustibles.

6. DTO 103/2020 MEN “Especificaciones particulares de los combustibles para uso marino”.

Fija las “especificaciones y requisitos” detallados que deben cumplir los combustibles para motores diésel y calderas de embarcaciones, definiendo varias categorías en cada uno de los dos tipos de combustibles. No menciona responsables ni normas chilenas de calidad, pero indica dónde y cuándo muestrear el combustible para el control de calidad.

7. DTO 67/2020 MEN “Especificaciones particulares de la gasolina de aviación”.

Fija en detalle las especificaciones y requisitos que debe cumplir la gasolina de aviación. No hace referencia a normas chilenas de calidad de combustibles ni entrega indicaciones de control de calidad.

3.1 Responsable de la calidad del hidrógeno

El propietario del hidrógeno contenido en una o más etapas de su cadena de valor y que transfiera su propiedad a cualquier título, será responsable de la calidad del hidrógeno cuyo título transfiere y, por lo tanto, del cumplimiento de los requisitos estipulados en el Título 4 y del plan de aseguramiento de calidad estipulado en el Título 5 del presente reglamento. Las etapas más corrientes de la cadena de valor son importación, producción, transporte, almacenamiento, distribución, y expendio. *En cada caso particular pueden existir sólo algunas de estas, u otras no mencionadas.*

El propietario del hidrógeno comercializado puede operar cada etapa incluida antes de la transferencia de su propiedad, o puede contratar los servicios de otros operadores para una o más etapas, pero siempre será responsable de la calidad del hidrógeno de su propiedad. Del mismo modo, podrá ser o no ser propietario de las instalaciones que se utilicen, lo que no cambia su responsabilidad.

Las instalaciones aquí referidas incluyen la infraestructura y equipos de producción, acondicionamiento, transporte, almacenamiento, distribución y dispensado. En los casos en que el propietario del hidrógeno, responsable de su calidad, no opere alguna instalación, deberá exigir al operador la implementación del plan de aseguramiento de calidad requerido en el Título 5 del presente reglamento y deberá verificar su ejecución permanente.

En el caso del transporte, en particular, si la operación del medio de transporte usado no está en manos del propietario del hidrógeno, dicho propietario deberá exigir al operador del medio de transporte la implementación del plan de aseguramiento de calidad requerido en el Título 5 del presente reglamento para asegurar que el combustible no se contamina durante el transporte.

Lo mismo aplica para el caso de almacenamiento en plantas no operadas por el propietario del hidrógeno. En el caso de las estaciones de expendio a público, si el que suministra el hidrógeno a la ESH no transfiere la propiedad de este al operador de ella, sino que directamente al público, el primero será responsable de su calidad y, por lo tanto, de aseguramiento de la calidad requerido en el Título 5 del presente reglamento.

Este artículo sigue los lineamientos de las RES 19049/2017 y RES 11898/2022 (considerando 11 y 10, respectivamente), con una redacción más corriente y explicativa. Tanto estas dos resoluciones como el DTO 132/1979 no mencionan a los operadores de las instalaciones de cada etapa de la cadena de valor, lo que se agrega aquí para mayor claridad.

3.2 Responsabilidad del operador

El operador de las instalaciones de hidrógeno será responsable de la implementación y ejecución del plan de aseguramiento de calidad requerido en el Título 5 del presente reglamento, sin perjuicio de la responsabilidad final del responsable de la calidad estipulado en el numeral **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, si fuera distinto al operador.

3.3 Informe de Aseguramiento de la Calidad (IAC)

Los IAC estipulados en el Título 5 serán exigidos ante cada transferencia de la propiedad del hidrógeno. La emisión de los IAC será responsabilidad del que entrega su propiedad y exigible por el que la recibe. La forma y validez de estos IAC serán establecidas por la Superintendencia de acuerdo a la normativa correspondiente.

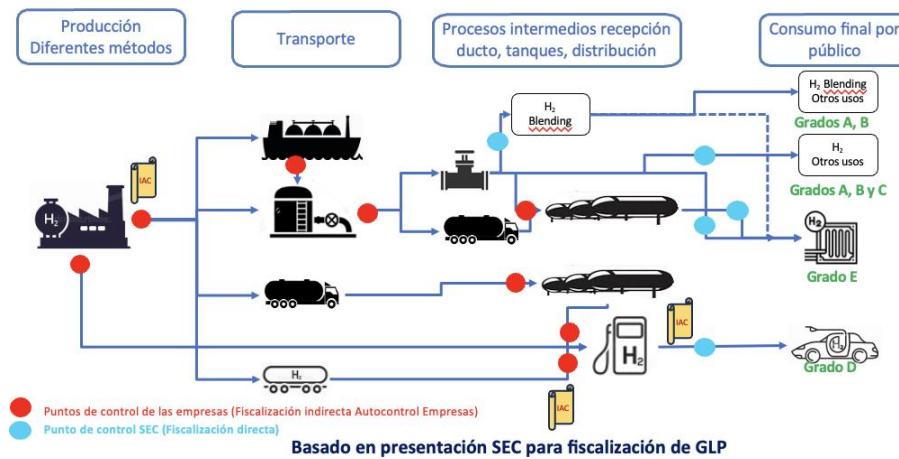


Figura 3-1 Ejemplo de generación de IAC (fuente: generación propia basado en esquema SEC para GLP)

La Figura 3-1 muestra un ejemplo de los IAC que deben ser generados para el caso en que el productor le vende el hidrógeno a un transportista, o a un intermediario mayorista o, comercializador o, distribuidor, el que lo traslada y vende a una estación de servicio la que, a su vez, finalmente lo vende a público. Para una mejor comprensión del proceso se recomienda revisar el Título 5. El primer IAC corresponde al del método de producción y contaminantes que debe ser medidos. El segundo IAC corresponde al de almacenamiento y transporte en que se asegura que no hubo contaminación por parte de los tanques en los que fue transportado y el tercero corresponde al de la estación surtidora de hidrógeno, que asegura que en su instalación no se han generado acciones o actividades que puedan haber contaminado el hidrógeno recibido.

3.4 Cambio de operador de instalación de hidrógeno

Cuando ocurra una transferencia o cambio de operador de las instalaciones hidrógeno, será obligación del nuevo operador certificar la calidad del hidrógeno presente en la instalación al momento del cambio, e informar de esta circunstancia a la Superintendencia dentro de los 30 días siguientes a la respectiva transferencia. (adaptación DS13).

3.5 Responsables ante reclamos por la calidad del hidrógeno

Si el que recibe la propiedad del hidrógeno en una transacción cualquiera tuviera un reclamo fundamentado por la calidad del hidrógeno, deberá presentarlo al responsable de la calidad que ha transferido la propiedad del combustible en un plazo no superior a 24 horas de ocurrido el hallazgo, con notificación a la Superintendencia y a los operadores que corresponda si fuera distinto al responsable. El operador deberá adoptar las medidas contempladas en el plan de aseguramiento de la calidad, las que deberán ser informadas a la Superintendencia y al responsable de la calidad, si fuera distinto del operador.

3.6 Registros del plan de aseguramiento de la calidad del hidrógeno

El operador de una instalación de hidrógeno deberá llevar un registro de la aplicación del plan de aseguramiento de la calidad del hidrógeno. Este registro incluirá la fecha de realización y descripción de todas las mantenciones, reparaciones, remplazos de equipos y componentes, modificaciones y otras acciones que puedan introducir contaminantes al hidrógeno. También incluirá los resultados de todos los análisis de control de calidad, además de la identificación del laboratorio responsable, la fecha y lugar del muestreo y la fecha del informe correspondiente a los análisis.

Estos registros deberán estar disponibles en todo momento para la inspección por parte de la Superintendencia y en los formatos y medios que esta defina. Si el operador es distinto al responsable de la calidad del hidrógeno, el primero deberá notificar al segundo y a la Superintendencia sobre el acontecimiento de alguno de los eventos recién aludidos.

3.7 Responsabilidad del laboratorio de certificación de calidad

El laboratorio de certificación de la calidad del hidrógeno será responsable de la toma de muestras y del análisis de ellas⁵, ya sea que realice estas operaciones por sí mismo o por encargo a terceros. Si el análisis de uno o todos los componentes de la muestra es realizado por uno o más laboratorios internacionales, estos deberán estar acreditados para dichos análisis de acuerdo con la norma ISO 17025:2017 u otra equivalente reconocida por la Superintendencia. También es responsabilidad del laboratorio cargar los resultados de cada informe de calidad a la base de datos que implementará la Superintendencia según la sección 6.3.

4 Clasificación y requisitos de calidad del hidrógeno como combustible (ISO)

Normas citadas en el presente capítulo

ISO: 14687:2019; ISO 21087; ISO 19880-1, ISO 19880-8

Se adaptaron las definiciones de la ISO 14687:2019 dado que se estima conveniente analizar el incluirlos en la regulación

1. *Constituyente: especie química o componente presente*
2. *Contaminante: impureza que afecta negativamente los elementos que son parte del sistema de consumo o del sistema de almacenamiento de hidrógeno.*
3. *Punto de muestreo (boundary point): punto entre el sistema de suministro y el sistema de consumo de hidrógeno combustible en el que deben determinarse las características de calidad del hidrógeno.*

4.1 Clasificación del hidrógeno

Para uso vehicular y aplicaciones estacionarias, el hidrógeno deberá ser clasificado de acuerdo al tipo y grado definidos en las secciones 4.2. y 4.3 y complementado con la información de aplicación definida en la Tabla 1 de la sección 4.2 de la norma ISO 14.687:2019.

La clasificación de las calidades del hidrógeno se hace considerando dos criterios: 1) estado de agregación (gas, líquido, sólido) y 2) aplicación o uso. El estado de agregación define los tipos, y el uso define los grados y categorías.

4.2 Tipos de hidrógeno

De acuerdo al estado de agregación del hidrógeno, se considerarán los siguientes tipos:

1. Tipo 1: Hidrógeno gaseoso
2. Tipo 2: Hidrógeno líquido

El Hidrógeno Tipo 3, no está considerado en el presente documento y este corresponde al Hidrógeno en pulpa o lechada, que es una mezcla de hidrógeno en fase sólida con hidrógeno en fase líquida. En la Tabla 4-1, se ha colocado en color gris para no perder el contexto general.

4.3 Grados del hidrógeno

De acuerdo a la aplicación en la que se use el hidrógeno, se definen los siguientes grados:

1. Grado A: para uso en combustión residencial y comercial, y motores de combustión interna para transporte.
2. Grado B: para uso en generación de calor y potencia industrial, no para celdas de combustible PEM

⁵ Se estima conveniente que solo exista un responsable de ambas acciones: toma de muestra y análisis de muestra, y se propone que el responsable debe ser el laboratorio. Ósea, él debe dar el servicio completo, ya sea que el laboratorio tome o no las muestras.

3. Grado C: para uso en i) Tipo I, sistemas de apoyo en tierra para aeronaves y vehículos espaciales, excepto celdas tipo PEM; ii) Tipo II, generación de energía eléctrica y propulsión a bordo de aeronaves, vehículos espaciales y vehículos todo terreno.
4. Grado D: para uso en celdas de combustible PEM en vehículos de carretera.
5. Grado E: para uso en celdas de combustible PEM estacionarias. A su vez, el Grado E tiene tres categorías de calidad del hidrógeno (Ver Tabla 4-1).

Tabla 4-1 Tipos y grados de hidrógeno (adaptación de ISO 14687:2019)

Tipo	Grado	Categoría	Aplicaciones	Ejemplo de aplicaciones
I, gas	A (Combustión general)		Motores de combustión interna para el transporte; aparatos de combustión residenciales/comerciales.	Buses, Camiones calderas, cocinas o similares
	B (Combustión industrial)		Combustible industrial para la generación de energía y la generación de calor, excepto las aplicaciones de celdas de combustible PEM	Secadores de llama Turbinas
	C (Apoyo en tierra aeroespacial)		Hidrógeno gaseoso; sistemas de apoyo en tierra para aeronaves y vehículos espaciales, excepto las PEM	Montacargas Camiones pequeños
	D, PEM-FC (Vehículos carretera)		Hidrógeno gaseoso; Pilas de combustible PEM para vehículos de carretera	Autos, Buses
	E, PEM-FC (Estacionarias)	1, combustible en base a H2	Combustible a base de hidrógeno; aplicaciones de alta eficiencia/baja potencia	Celdas de combustible con metano e hidrógeno aplicación residencial
		2, combustible en base a H2	Combustible a base de hidrógeno; aplicaciones de alta potencia	Celdas de combustible con metano e hidrógeno aplicación industrial
		3, hidrógeno combustible	Hidrógeno gaseoso; aplicaciones de alta potencia/alta eficiencia	Celdas de combustible aplicación residencial
II, líquido	C (Vehículos aeroespaciales)		Necesidades de propulsión y energía eléctrica a bordo de aeronaves y vehículos espaciales; vehículos todoterreno	Cohetes Satélites Aeronaves Vehículos off road
	D (Vehículos carretera)		Pilas de combustible PEM para vehículos de carretera	Autos, buses
III, lechada (slush)	(Vehículos aeroespaciales)		Propulsión a bordo de aeronaves y vehículos espaciales	Cohetes aeronaves

4.4 Requisito de calidad del hidrógeno de tipos I y II, hidrógeno Grado D

Los requisitos de calidad que deben cumplir el hidrógeno Grado D, tipos I y II, de aplicación en celdas de combustible para vehículos de carretera, definidos en las secciones 4.1 a 4.3, serán los establecidos en la sección 5.1, Tabla N° 2 de la norma ISO 14.687:2019.

4.5 Requisito de calidad de hidrógeno Tipo I, Grado E, categorías 1 a 3

Los requisitos de calidad que deben cumplir el hidrógeno Tipo I, Grado E, categorías 1 a 3, de aplicación en celdas de combustible estacionarias, definidos en las secciones 4.1 a 4.3, serán los indicados en la sección 6.1 y especificados en la Tabla N° 3 de la norma ISO 14.687:2019.

4.6 Requisito de calidad de hidrógeno para otras aplicaciones diferentes de celdas de combustible PEM para vehículos o estacionarias

Los requisitos de calidad que deben cumplir los tipos y grados de hidrógeno para otras aplicaciones, diferentes a las señaladas en las secciones 4.4 y 4.5 precedentes, y definidos en las secciones 4.1 a 4.3, serán los indicados en la sección 7.1, y especificados en la Tabla N° 4 de la norma ISO 14.687:2019.

5 Aseguramiento de la calidad del hidrógeno combustible

El aseguramiento de la calidad del hidrógeno está basado en el contenido de las normas UNE-EN 17124 e ISO 19880-8. La norma UNE-EN 17124 es la versión española de la EN 17124, ambas son idénticas y se ha escogido la UNE-EN porque está en castellano. Por simplicidad, en lo que sigue se usará el nombre EN 17124 para referirnos cualquiera de las dos.

La norma EN 17124 tiene por objetivos especificar “... las características de calidad del combustible de hidrógeno dispensado en las estaciones de suministro de hidrógeno para uso en sistemas de vehículos de pilas de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM), así como las consideraciones pertinentes sobre la garantía de calidad para garantizar la uniformidad del combustible de hidrógeno.” El primer objetivo, especificar las características de calidad, es tratado en el Título 4 del presente reglamento, y el segundo objetivo, garantizar la calidad, es abordado en el presente título. Consecuentemente, este Título 5 refiere a las secciones 5 a 9 de la EN 17124.

El alcance de la norma ISO 19880-8 es “This document specifies the protocol for ensuring the quality of the gaseous hydrogen at hydrogen distribution facilities and hydrogen fuelling stations for proton exchange membrane (PEM) fuel cells for road vehicles.”⁶ Esto corresponde al segundo objetivo de la norma EN 17124; el primer objetivo de la norma EN 17124 está en la ISO 14687. En resumen, el conjunto de normas ISO 14687 e ISO 19880-8 equivale a la norma EN 17124.

La Tabla 3 compara el contenido de las normas EN 17124 e ISO 19880-8. Hay que notar que a) los contenidos son prácticamente los mismos, sólo cambia el orden de ellos, y b) las especificaciones de calidad en la norma ISO 19880-8 está referida a la ISO 14687.

En resumen, la norma EN 17124 equivale al conjunto de la norma ISO 14687 más la ISO 19880-8. La primera cuesta EU 74 (UNE, 2022), y las ISO 14687:2019 e ISO 19880-8:2019 cuestan USD 70 y USD 192, respectivamente (ISO.org).

Tabla 2 Comparación del contenido de las normas EN 17124 e ISO 19880-8

EN 17124	ISO 19880-8
1 Objeto y campo de aplicación	1 Scope
2 Normas para consulta	2 Normative references
3 Términos y definiciones	3 Terms and definitions
4 Requisitos	4 Abbreviated terms
5 Metodología de garantía de calidad del hidrógeno	5 Hydrogen specifications
5.1 Requisitos generales – Fuentes potenciales de impurezas	8 Hydrogen quality assurance methodology
5.2 Enfoque normativo para la garantía de calidad del hidrógeno	8.1 General. (7 Potential sources of impurities)
5.3 Evaluación de riesgos para el hidrógeno y garantía de calidad	8.2 Prescriptive methodology.
5.4 Impacto de las impurezas sobre el tren motriz de pila de combustible	8.3 Risk assessment methodology. 8.4 Impact of impurities on fuel cell

⁶ Traducción: “Este documento especifica el protocolo para garantizar la calidad del hidrógeno gaseoso en las instalaciones de distribución de hidrógeno y en las estaciones de repostaje de hidrógeno para pilas de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM) para vehículos de carretera”.

<p><i>6 Enfoques de control de calidad para el hidrógeno</i></p> <p><i>6.1 Requisitos generales</i></p> <p><i>6.2 Muestreo puntual</i></p> <p><i>6.3 Supervisión</i></p> <p><i>7 Control de calidad rutinario</i></p> <p><i>8 Control de calidad no rutinario</i></p> <p><i>9 No conformidades</i></p>	<p><i>6 Quality control approaches:</i></p> <p><i>6.1 General.</i></p> <p><i>6.2 Sampling.</i></p> <p><i>6.3 Monitoring</i></p>
--	---

5.1 Plan de aseguramiento de calidad

El responsable de la calidad del hidrógeno deberá establecer un plan de aseguramiento de calidad según lo establecido en la norma NCh3888/8:2024, o ISO 19880-8:2019 y sus modificaciones, para toda la cadena de valor.

5.2 Contenido del Plan de aseguramiento de calidad

Las normas de referencia no dan muchos detalles del contenido del plan de aseguramiento de calidad, por lo que algunos miembros del CT pidieron explicitar sus contenidos. Ante esto, se incluyeron las recomendaciones generales en el portal de ISO⁷ para un plan de aseguramiento de calidad, que son complementarias a las indicadas en la norma ISO 19880-8.

El “Plan de aseguramiento de calidad del hidrógeno” debe incluir, al menos, los siguientes contenidos, además de los indicados en la norma ISO 19880-8:

1. Identificación de la empresa y la instalación de dispensado o distribución.
2. Definición de responsabilidades y funciones.
3. Declaración de si se hace monitoreo continuo de uno o más contaminantes en el hidrógeno, incluyendo los contaminantes que se controlarán. Las especies controladas pueden ser una impureza crítica o una especie indicadora que indique la probable presencia de contaminantes críticos.
4. Identificación de el o los puntos de monitoreo continuo de la calidad del hidrógeno, si los hubiera.
5. Identificación de el o los puntos de toma de muestra para análisis de calidad. Estos puntos deben permitir obtener una muestra representativa del hidrógeno dispensado o distribuido.
6. Definición de un plan de inspección y mantención de aquellos equipos y componentes que puedan afectar la calidad del hidrógeno.
7. Definición de un protocolo de control de calidad rutinario, de acuerdo con lo señalado en la sección 5.3.
8. Definición de un protocolo de control de calidad no rutinario, de acuerdo con lo señalado en la sección 5.3
9. Indicación de quienes deben ser informados de los resultados del control de calidad.
10. Indicación de las medidas a tomar cuando se encuentra una no-conformidad, para evitar el suministro de hidrógeno que no cumpla con los requisitos de calidad, y para corregir la no-conformidad.
11. Indicación de formas de difusión y celebración de los éxitos del plan entre los involucrados e interesados en él.

⁷ Ver [ISO - Quality assurance: A critical ingredient for organizational success](#)

5.3 Protocolos de control de calidad

El Apéndice 11.1 presenta un análisis de los protocolos de control de calidad requeridos por el documento y las normas de referencia. El significado de los términos como “rutinario”, “prescriptivos” y otros similares están en el Art. 2.1 Definiciones.

Estos protocolos deben incluir las impurezas a analizar y la frecuencia o eventos para hacer los análisis, según corresponda a control rutinario o no rutinario, respectivamente, y podrán ser de tipo prescriptivos, o basados en una evaluación de riesgo para cada impureza y para cada caso de aplicación del protocolo.

Una opción para el texto de este artículo es la siguiente: *El responsable de la calidad podrá escoger el tipo de protocolo a usar, prescriptivo o basado en evaluación de riesgo, solicitando la aprobación de la Superintendencia al momento de la inscripción de la instalación. La Superintendencia podrá establecer lineamientos adicionales, acorde con la evolución del mercado y el desarrollo de la tecnología del hidrógeno combustible.*

La Figura 5-1 muestra un ejemplo de diagrama de control prescriptivo en función de tipos de control de calidad.

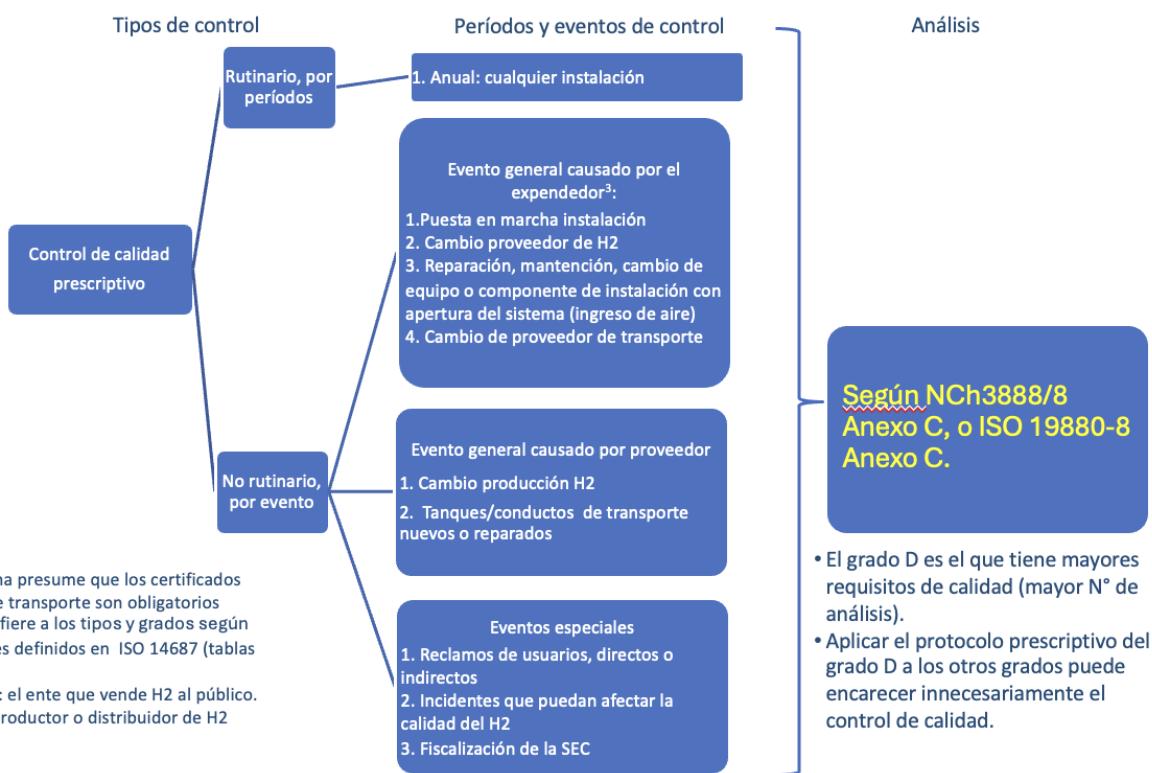


Figura 5-1 Ejemplo de esquema de control de calidad prescriptivo (Fuente: elaboración propia)

El protocolo prescriptivo debe seguir las indicaciones de la norma NCh3888/8:2024 Anexo C, o ISO 19880-8:2019 Anexo C para el hidrógeno Grado D.

Para los casos de aplicación del protocolo que no se encuentren en estas normas, el responsable de la calidad diseñará un protocolo basado en una evaluación de riesgo, siguiendo las indicaciones de la norma NCh3888/8:2024 o ISO 19880-8:2019, u otras similares aprobadas por la Superintendencia. El responsable de la calidad podrá diseñar un protocolo basado en evaluación de riesgo incluso para casos contemplados en las normas citadas, si presenta una justificación apropiada a la Superintendencia.

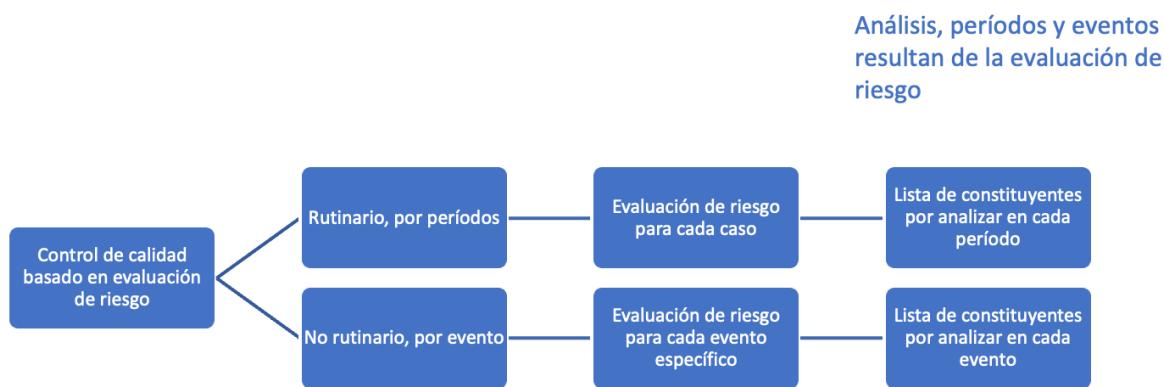


Figura 5-2 Ejemplo de esquema de control basado en evaluación de riesgo (Fuente: elaboración propia)

Nº	Método producción	Contaminantes												Total análisis	Costo USD
		O2	N2	H2O	Ar	He	NH3	Halogenos	TS	THC	CO	HCHO	HCOOH	MP	
1	Steam reforming													13	17.100
2	Partial oxidation													9	11.700
3	Autothermal reforming													11	14.400
4	Water gas shift reaction													5	6.300
5	Catalytic reforming													13	17.100
6	Coke oven gas													11	14.400
7	Steam cracking for ethylene by product													9	11.700
8	Chloroalkali process													6	7.650
9	Electrolysis of H2O													5	6.300

1) Considera CH4 en THC. 2) No considera CO2, ni Mercurio. 3) Fuente costo: Entrevista a Airborne Labs. 4) Costo análisis MP: USD 900. 5) Costo Análisis no MP: USD 1.350

Figura 5-3 Métodos de producción y contaminantes a analizar, adaptado de ISO 19880-8 Anexo C

5.4 Informe de Aseguramiento de Calidad (IAC)

Se recomienda leer el anexo 12, donde se detallan y explican los argumentos para los IAC. El hidrógeno suministrado por cada etapa de la cadena de valor deberá contar con un IAC generado por quien transfiere el producto. Por ejemplo, el productor emite un IAC de producción (IACP); el que almacena y transporta, un IAC de almacenamiento y transporte (IACAT); el distribuidor mayorista, un IAC de distribución al por mayor y el distribuidor minorista que vende a público un IAC de distribución al por menor. Estos documentos informan que se ha ejecutado correctamente un plan de aseguramiento de la calidad establecido, lo que implica, al menos, un control de calidad del hidrógeno procedente de la instalación de producción, almacenamiento o transporte que se certifica, y que no han habido eventos que puedan afectar la calidad del hidrógeno entre la fecha de emisión y la fecha de vencimiento del IAC; cualquier evento que pueda afectar la calidad del hidrógeno causará de inmediato la caducidad del IAC. La Superintendencia establecerá los requisitos, modalidad, formato y duración de los distintos IAC. Mientras la Superintendencia no establezca estos requisitos, modalidad, formato y duración de cada IAC específico, dichos informes deberán ajustarse a lo señalado por las normas ISO 19880-8:2019 o UNE EN 17124.

Por lo tanto, la Superintendencia podrá establecer requisitos específicos y adicionales a los IAC del hidrógeno producido, almacenado y transportado, según corresponda, que garantice el cumplimiento de la norma de calidad. Estos informes estarán respaldados por un plan de calidad del productor o transportista, según corresponda, que incluya un control de calidad basado en análisis de los constituyentes críticos para la calidad del hidrógeno certificado.

Estos informes permiten reducir el costo del protocolo de control de calidad de la última etapa de la cadena de valor.

Para una mejor comprensión se sugiere revisar el apéndice 12.2 figura 1

6 Sistemas de comprobación de la calidad

Este Título define los métodos analíticos a usar para la comprobación de la calidad del hidrógeno en función de sus contaminantes deberá estar basado en lo dispuesto en la norma ISO 21087:2019, la cual se encuentra en revisión y será reemplazada por una nueva edición durante el 2024 según aparece en: <https://www.iso.org/standard/69909.html>.

6.1 Requerimientos de método de análisis y técnicas analíticas

6.1.1 Validación de métodos analíticos

Los métodos analíticos para la cuantificación de los contaminantes de los diferentes tipos y grados de hidrógeno deberán ser validados de acuerdo con la norma ISO 21087:2019.

A continuación, se presenta una tabla con las consecuencias de algunos contaminantes en las celdas de combustibles (FC) y otros componentes.

Tipo de daño o efecto	Contaminante															
	1 O2	2 N2	3 H2O	4 Ar	5 He	6 NH3	7 Halogenos	8 TS	9 THC	10 CO	11 HCHO	12 HCOOH	13 MP	14 CO2	15 Hg	16 CH4
Dilución del H2 en bajas concentraciones																
Inducción errores lectura instrumentos																
Puede afectar FC en altas concentraciones																
Envenenamiento severo del catalizador																
Se estima que puede afectar-falta información																

Fuente: ISO 19880-8; y 14687:2019 en Anexo B, para contaminantes 1 a 14 y 16

Fuente: 14687:2019 en Nora al pie de Tabla 1 en ISO 14687:2019

Figura 6-1 Efecto de los contaminantes sobre la celda de combustible y otros componentes

6.1.2 Cuantificación de los contaminantes

Para cuantificar los contaminantes de los diferentes tipos y grados de hidrógeno podrán usarse los métodos analíticos ya validados indicados en la norma ISO 21087:2019.

Su propósito principal es entregar una metodología para validar cualquier método que se quiera usar, como lo dice la sección 6.1.2. En “Scope”, la ISO 21087 dice “This document specifies the validation protocol of analytical methods used for ensuring the quality of the gaseous hydrogen ...” Posteriormente, dice “This document gives a list of suitable analytical techniques ...”, de lo que se entiende que es una lista de métodos adecuados, y que no excluye otros métodos que satisfagan los requisitos de esta norma. Esto queda claro en el segundo párrafo de la sección 7: “Table 2 reflects the existing state of the art analytical techniques but others can be applied if fully validated according to the previous protocol.”

6.1.3 Cuantificación del mercurio

Para cuantificar la determinación de mercurio podrán usarse los métodos analíticos ya validados indicados en la NCh 2187 Of92, sección 7.9 “Vapor de Mercurio”, siempre que se validen según la norma ISO 21087.

La ISO 21087:2019 especifica que los métodos analíticos son aquellos que cubre a los contaminantes del H2 grado D señalados en la ISO 14687:2019.

6.1.4 Monitoreo en línea

La presente regulación no aplica para los métodos analíticos empleados en los sistemas de monitoreo en línea. *La ISO 14687 indica que no aplica al monitoreo en línea*

Family	Technique	Number of impurities	Impurities													
			Ammonia	Argon	Carbon dioxide	Carbon monoxide	Formaldehyde	Formic Acid	Halogenated compounds	Helium	Methane	Nitrogen	Non-methane hydrocarbons	Oxygen	Total hydrocarbons	Water
Number of suitable techniques per impurity			7	4	6	7	8	7	0	2	7	5	4	7	4	10
Gas chromatography	GC-ECD	0							Partial							
	GC-ELCD	2							Partial							
	GC-FID	3														
	GC-HID	2														
	GC-MS	6						100 =	?							
	GC-MS with jet pulse injection	7														
	GC-PDHID	6														
	GC-SCD	1														
	GC-TCD	5			100 =											
Gas chromatography with pre-concentration	GC-FPD (with pre-concentrator)	2														
	GC-MS (with pre-concentrator)	1							Partial							
	GC-MS (with pre-concentrator) +	0							Partial							
	GC-ELCD								Partial							
	GC-SCD (with pre-concentrator)	1							Partial							
	Methanizer GC-FID	5														
	TD-GC-FPD/MS	0													Partial	
	TD-GC-MS	1							Partial			?				
	TD-GC-MS/FID	0							Partial						100 =	
Liquid chromatography	TD-GC-PDCD	0							Partial							
	CIC	0							Partial						?	
	DNPH-HPLC-UV-VIS	1														
	DNPH-HPLC															
	HPLC-CD	0	100 =													
	IC	0							?	Partial					?	
	IC with concentrator	2								Partial						
Spectroscopy	IC-CD	1														
	Impinger - IC	0							?	?	Partial					
	Continuous wave CRDS	7														
	CRDS	3	100 =													
	DAS	0								Partial						
Others	FTIR	8								Partial						
	OFCAES	8								Partial					Partial	
	Al2O3 sensor	1														
	Chilled mirror hygrometer	1														
	Coulometric	1														
	EC sensor	1														
	Electrolytic hygrometer	1														
	Quartz crystal microbalance	1														
	SCD	1														
	SIFT-MS	3														

Nota: ?: No se conoce el límite de detección del método; Partial: El método no abarca todos los compuestos que se encuentran dentro de la familia de compuestos halogenados, sulfurosos o hidrocarburos totales; LOD= : El límite de detección del método es igual al umbral de control

Figura 6-2 Capacidad de los métodos analíticos para analizar impurezas según ISO 14687:2019 basada en el límite de detección (Beurey, y otros, 2021).

Como se puede apreciar existen más de cinco familias de técnicas analíticas las que a su vez implican más de treinta y nueve técnicas para la determinación de impurezas, no existiendo a la fecha un método que permita determinarlas todas. Por otro lado, para algunos contaminantes como los halógenos, no hay una técnica que pueda ser considerada completamente adecuada. Se recomienda revisar el informe de GIZ del año 2022 denominado “Especificaciones de calidad del hidrógeno como combustible y certificación de Productos”, el que se puede descargar en el siguiente link: https://4echile.cl/wp-content/uploads/2022/01/Calidad-H2-y-sistema-certificacion-productos-GN_publico.pdf.

6.2 Reportabilidad

6.2.1 Informe de calidad del hidrógeno

El informe de la calidad del hidrógeno deberá considerar, al menos, lo señalado en la sección 9 de la ISO 21087:2019. Estos informes serán conservados por al menos 5 años y deberán estar a disposición de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles en el momento que ella lo requiera.

6.2.2 Unidades

Las unidades de los contaminantes determinados deberán ser las mismas que se usan en las Tablas 2, 3 y 4 de la norma ISO 14697, según corresponda. (unidades en micro mol/mol, salvo cuando se indica %, o en mg/kg para las partículas)

Analytical Report según ISO 21087, sección 9

Cada informe analítico incluirá, como mínimo, la siguiente información, o la que indique la Superintendencia, a menos que el laboratorio tenga razones válidas para no hacerlo:

- a) Título, por ejemplo, "Informe analítico"
- b) Nombre y dirección del laboratorio, y el lugar donde se llevó a cabo el análisis, si difiere de la dirección del laboratorio.
- c) Identificación única del informe analítico (como el número de serie) y en cada página una identificación para garantizar que la página se reconozca como parte del informe de prueba y una identificación clara del final del informe.
- d) Nombre y la dirección del cliente.
- e) Identificación del método utilizado e información sobre si el método está validado (es decir, validación interna o referencia a un método normalizado).
- f) Descripción e identificación inequívoca de la muestra analizada.
- g) Fecha de muestreo (si el laboratorio estaba a cargo del muestreo), la fecha de recepción de la muestra en el laboratorio (cuando esto sea crítico para la validez de los resultados) y la(s) fecha(s) del análisis.
- h) Resultados analíticos con las unidades de medida.
- i) Declaración sobre la incertidumbre estimada de la medición (con el factor de cobertura utilizado);
- j) Nombre(s), función(es) y firma(s) o identificación equivalente de la(s) persona(s) que autoriza(n) el informe analítico.

Los informes analíticos por muestreo deberán incluir también, cuando sea necesario para la interpretación de los resultados de los ensayos o cuando el muestreo haya sido realizado por el laboratorio analítico, lo siguiente:

- a) Desviaciones, adiciones o exclusiones del método validado, e información sobre condiciones de ensayo específicas, como las condiciones ambientales.
- b) Referencia a las mezclas de gases patrón utilizadas para el análisis.
- c) Identificación inequívoca del hidrógeno muestreado (incluido el nombre del fabricante, la ubicación).
- d) Si el muestreo es realizado por el laboratorio, la ubicación del muestreo, incluidos los diagramas, croquis o fotografías.
- e) Detalles de cualquier condición ambiental durante el muestreo que pueda afectar la interpretación de los resultados de la prueba.
- f) Cualquier norma u otra especificación para el método o procedimiento de muestreo, así como las desviaciones, adiciones o exclusiones de la especificación de que se trate.

6.3 Base de datos de contaminantes de hidrógeno

La Superintendencia de Electricidad y Combustibles, generará y mantendrá una base de datos de acceso público, sin identificación de la fuente, con la información recopilada de los informes de la calidad del hidrógeno. El laboratorio que informa la calidad del hidrógeno deberá subir a esta base de datos los resultados de cada informe de calidad.

Se podría considerar un Artículo Transitorio: En un plazo de un año La SEC generará una base de dato y los procedimientos para el acceso, llenado u otro, de la información proveniente de los reportes de la calidad del hidrógeno. Esta base de datos será importante para las evaluaciones de riesgo necesarias para diseñar protocolos de control de calidad basados en evaluación de riesgo y, también para los protocolos prescriptivos.

6.4 Acreditación del laboratorio

El laboratorio responsable de la toma de muestra y de los análisis deberá estar acreditado ante el INN y autorizado por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles. Uno, varios o la totalidad de los análisis podrán ser realizados por laboratorios extranjeros acreditados, si el laboratorio responsable no tiene la capacidad para ello.

Debido a que no hay laboratorios con presencia nacional capaces de hacer todos los análisis, parece razonable que algunos laboratorios nacionales tengan acuerdos con laboratorios extranjeros especializados sin presencia en Chile. El laboratorio nacional tendrá la responsabilidad de tomar las muestras, enviarlas al

laboratorio especializado, emitir el informe y registrar los resultados en la base de datos de la SEC. También parece razonable que si un laboratorio especializado quiere hacer análisis de hidrógeno de instalaciones en Chile se haga responsable de la toma de muestra y, para ello, se acredite ante la SEC. Este es un tema para debatir, para asegurar que no se introduzcan costos adicionales innecesarios.

7 Muestreo

Considera los requerimientos de la ISO 21087 que señala que “Este documento establece criterios para validar los métodos analíticos utilizados para el control de calidad en las instalaciones de distribución de hidrógeno”.

7.1 Toma de muestras

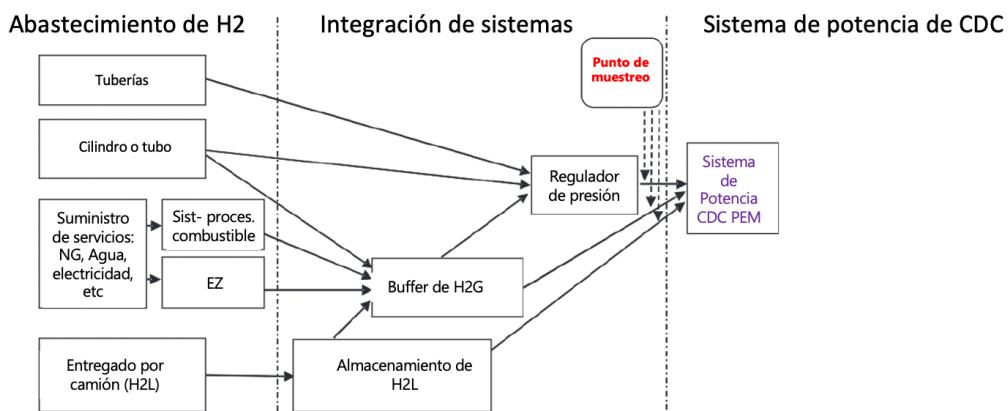


Figura 7-1 Ejemplo de abastecimiento de H2 a un sistema de potencia de CDC y la posición de los puntos de muestreo (boundary points), (Ref.: Adaptado ISO 14687 Anexo A1)

El ejemplo de la figura 7-1 muestra los puntos de muestreo para un sistema que abastece celdas de combustible estacionarias; como podría ser el caso de abastecer a viviendas que generen electricidad a partir de H2. Como se aprecia, el punto de toma de muestras para la calidad del hidrógeno, debería estar lo más cerca posible del punto en el que el hidrógeno ingresa a la celda de combustible estacionaria.

7.1.1 Muestreo para uso H2 grado D en vehículos a celda de combustible tipo PEM

Para hidrógeno grado D, de uso en celdas de combustibles tipo PEM de vehículos de carretera (información de 5.3 ISO14687), la muestra debe ser obtenida en la boquilla dispensadora, de acuerdo a las orientaciones señaladas en la norma ISO 19880-1:2020 (Gaseous hydrogen — Fuelling stationsPart 1: General requirements) y lo indicado en la sección 8 “Muestreo”, de la norma ISO 21087.

7.1.2 Muestreo para uso de hidrógeno grado E en celda de combustible tipo PEM estacionarias

Para aplicaciones de H2 grado E en celda de combustible estacionarias (información de 6.3 ISO 14687), la muestra de hidrógeno debe ser obtenida desde un punto de muestreo que proporcione muestras representativas del combustible que se suministra a la celda de combustible estacionaria, de acuerdo a los requisitos establecidos en la sección 6.3 de la norma ISO 14687. El punto de muestreo se escoge en el punto límite “boundary point” como ilustra el Anexo A de la ISO 14687; se puede definir el punto de muestreo y como se elige en este documento, o analizar si es suficiente lo que indica la sección 6.3 y el Anexo A de la ISO 14687. Se sugiere revisar el Anexo A de dicha norma, donde se entrega información para seleccionar el punto de muestreo.

7.1.3 Muestreo para otras aplicaciones

Para otras aplicaciones, la muestra de hidrógeno debe ser obtenida desde un punto de muestreo de acuerdo a los requisitos establecidos en la sección 7.3 de la norma ISO 14687.

7.1.4 Recipientes para toma de muestra

Los recipientes a utilizar para el muestreo deberán cumplir con lo señalado en la sección 8.2 “recipientes de muestreo” de la norma ISO 21087:2019.

7.1.5 Conexión de hidrógeno para toma de muestras

Para la toma de muestras señaladas en las secciones 7.1.2 y 7.1.3, los sistemas de hidrógeno deberán contar con una conexión que permita conectar un sistema de toma de muestras de hidrógeno en el punto de muestreo.

7.2 Frecuencia de muestreo

7.2.1 Frecuencia de muestreo análisis rutinarios y no rutinarios

La frecuencia de muestreo para los análisis rutinarios y no rutinarios deberá ser consecuente con lo establecido en el Título 5 del presente documento.

7.2.2 Muestreos por parte de la Superintendencia

La Superintendencia podrá realizar fiscalizaciones aleatorias de la calidad del hidrógeno de acuerdo a los criterios que ella determine.

8 Comunicaciones e informes

8.1 De los responsables de la calidad del hidrógeno

8.1.1 Para dar cumplimiento a la obligación de muestreo y análisis, el operador responsable de la calidad de una nueva instalación, en el momento de su inscripción, deberá informar a la Superintendencia el plan de aseguramiento de la calidad de la forma que esta determine. (adaptado de resolución 11898 artículo 3.1)

8.1.2 Adicionalmente, de existir cambios en el plan de aseguramiento de la calidad, deberá informar a la Superintendencia en un plazo no superior a treinta días corridos de ocurrido el cambio de la forma que esta determine.

8.1.3 Los responsables de la calidad del hidrógeno, en caso de verificarse algún no cumplimiento en las especificaciones de calidad establecidas en la normativa vigente respecto de los contaminantes establecidos en el Título 4 del presente documento, deberán detener inmediatamente toda actividad de expendio a público e informar a la Superintendencia dicha circunstancia, dentro de las 24 horas siguientes de comunicado el hecho por el laboratorio respectivo. Para ello deberán ingresar en la Superintendencia copia del informe de ensayo pertinente e información sobre la cantidad de hidrógeno involucrado en el incumplimiento de la forma que esta determine.

Además, el responsable de la calidad deberá remitir a la Superintendencia, en el plazo de cinco días hábiles, contado desde la verificación de la irregularidad, un informe que incluya la determinación de sus causales, el volumen del hidrógeno involucrado, la identificación de los usuarios afectados si los hubiera, la forma como éstas fueron resueltas y las medidas correctivas adoptadas con el objeto de evitar la reincidencia de esa circunstancia. (de Res 11898 artículo 6.3).

8.1.4 El responsable de la calidad deberá contratar un laboratorio de ensayo para realizar la toma de muestra y análisis, informando a la Superintendencia, de la forma que esta determine, el nombre del mismo antes del 31 de diciembre de cada año. Cualquier modificación en ese contrato deberá ser informado a la Superintendencia en el plazo de quince días hábiles contado desde la suscripción del nuevo contrato, informando además la identificación del nuevo laboratorio que realizará esas actividades. (de Res 19014-2017 artículo 2.1)

8.1.5 La Superintendencia, sin perjuicio de los propios indicadores de cada responsable de la calidad del hidrógeno, y basada en los IAC señalados en la sección 5.4 del Título 5, podrá establecer indicadores de calidad que permitan medir el desempeño de los responsables de la calidad de las distintas Instalaciones de

Hidrógeno. Los responsables de la calidad deberán informar a la Superintendencia el desempeño de sus instalaciones mediante los procedimientos que ésta determine (*basado en DS13 art 69*).

8.1.6 De acuerdo a lo estipulado en el Título 3 artículo 3.4, el nuevo operador de una instalación de hidrógeno deberá informar a la Superintendencia, en un plazo no superior a los treinta días siguientes, del cambio de operador y de la calidad del hidrógeno de la instalación que asume.

8.1.7 De acuerdo a lo estipulado en el Título 3 artículo 3.5, el que recibe la propiedad del hidrógeno y tuviere un reclamo fundamentado que afecte la calidad, deberá informar a la Superintendencia en un plazo no superior a las veinticuatro horas de ocurrido el hallazgo.

8.1.8 En caso de la ocurrencia de eventos que afecten lo dispuesto en Título 3 sección 3.6 del presente reglamento, si el operador de una instalación de hidrógeno es distinto al responsable de la calidad del hidrógeno, el primero deberá notificar al segundo y a la Superintendencia en un plazo no superior a cinco días, sobre el acontecimiento de alguno de los eventos aludidos en dicho artículo.

8.2 De los laboratorios

8.2.1 Los laboratorios de análisis deberán informar a la Superintendencia a más tardar el día 31 de diciembre de cada año, las entidades de muestreo a las cuales encomendarán dicha actividad. Adicionalmente, la incorporación o eliminación de una entidad de muestreo deberá ser notificada por los laboratorios a la Superintendencia en el plazo de cinco días hábiles de ocurrido el hecho (*de Res 1189, artículo 4.4*).

8.2.2 Los laboratorios, en caso de verificarse algún no cumplimiento en las especificaciones de calidad establecidas en la normativa vigente respecto de los contaminantes establecidos en el Título 4 del presente reglamento, deberán informar a la Superintendencia tal hecho, dentro de las veinticuatro horas posteriores a la obtención de los resultados respectivos, mediante la forma y medios que determine la Superintendencia, adjuntando una copia del Acta de Toma de Muestra, Toma de Conocimiento, Informe de Ensayo respectivo y medio de verificación mediante el cual acredite que informó el incumplimiento al responsable de la calidad. (*de Res. 1189 artículo 6.4*).

Sin perjuicio de lo anterior, también es responsabilidad del laboratorio cargar, dentro del mismo plazo señalado en el párrafo anterior, los resultados de cada informe a la base de datos de la Superintendencia según la sección 6.3 del presente documento.

8.2.3 Será responsabilidad del laboratorio la correcta identificación de cada acta y muestra, debiendo mantener un control de los correlativos de éstas e informar a la Superintendencia en caso de eventuales errores (*de Res. 1189 art. 4.10*).

8.3 Incidentes a informar

8.3.1 Sin perjuicio de lo indicado en los numerales precedentes, el responsable de la calidad también deberá informar a la Superintendencia, cualquier otro hallazgo que evidencie un no cumplimiento de las especificaciones de calidad de la normativa vigente, en el desarrollo de los controles que cada empresa implemente, en un plazo no superior a cinco días corridos de ocurrido el hallazgo. (*de Res. 19014-2017 art 7.9*)

9 Fiscalización y sanciones

9.1 Organismo fiscalizador

La Superintendencia será el organismo encargado de fiscalizar y supervisar el cumplimiento del presente reglamento. El Propietario u Operador estarán obligados a facilitar el acceso a sus instalaciones y prestar la asistencia necesaria para que el ente fiscalizador pueda cumplir su labor. (*DS 13, Ministerio de Energía*)

9.2 Fiscalización y sanciones por incumplimiento

Toda infracción a las disposiciones del presente documento será sancionada por la Superintendencia de conformidad a lo dispuesto en la Ley N° 18.410, que crea la Superintendencia de Electricidad y Combustibles. (*de DS 13. Ministerio de Energía*)

10 Disposiciones transitorias

Este Título se basó en el desarrollo propuesto para el texto de documento desarrollado entre los Títulos 1 al 9.

10.1 Acreditación

Dos años después de la fecha de entrada en vigencia del presente reglamento, los análisis de contaminantes deberán ser realizadas y emitidos por laboratorios acreditados según los requerimientos establecidos en la norma ISO 17025:2017 y autorizados por la Superintendencia.

10.2 Cumplimiento requisitos reglamento

Los responsables de la calidad del hidrógeno de las instalaciones existentes afectas al presente reglamento y aquellas en construcción, deberán cumplir con los requerimientos establecidos en un plazo no superior a un año a partir de la fecha de entrada en vigencia del presente documento.

10.3 Procedimiento de emisión IAC

La Superintendencia elaborará el procedimiento para la emisión de los informes de aseguramiento de la calidad en un plazo no superior a un año a partir de la fecha de entrada en vigencia del presente reglamento.

10.5 Base de datos estadísticos

La Superintendencia habilitará la base de datos con estadísticas de la calidad del hidrógeno (*o cualquier sistema que tenga como fin el almacenar información de la calidad y permitir obtener estadísticas que puedan ayudar a los estudios de riesgo que se realicen*) en un plazo no superior a un año a partir de la fecha de entrada en vigencia del presente documento.

11 Apéndices

Los apéndices no son parte del reglamento de calidad, pero entregan información adicional que explica o justifica el contenido del reglamento.

11.1 Análisis del protocolo de control de calidad requerido por las normas NCh3888/8, ISO 19880-8 y EN 17124

Este apéndice explica la racionalidad del esquema de protocolos de calidad propuestos por las normas referidas, y las dificultades prácticas de su aplicación.

11.1.1 Introducción

Las normas NCh3888/8, ISO 19880-8 y EN 17124, todas armonizadas, exigen un plan de aseguramiento, o aseguramiento, de la calidad del hidrógeno para las estaciones de repostaje de hidrógeno para vehículos con celdas de combustible tipo PEM, que abreviaremos como HRS (*Hydrogen Refuelling Stations*); este combustible corresponde al Grado D especificado por la norma ISO 14687. El plan debe incluir un protocolo de control de calidad, consistente fundamentalmente en analizar las impurezas del hidrógeno. Este documento discute este requerimiento.

11.1.2 Protocolo de control de calidad

El protocolo de control de calidad más completo y directo consiste en analizar todas las impurezas del hidrógeno en una HRS y verificar que la concentración de ellas sea igual o menor a los umbrales requeridos por las normas de calidad del hidrógeno. Estos análisis pueden ser rutinarios o no rutinarios. Los análisis rutinarios son aquellos que se realizan periódicamente, independiente de las circunstancias o eventos especiales que puedan ocurrir. Los no rutinarios son aquellos que se realizan cuando ocurren eventos que puedan afectar la calidad del hidrógeno. Estos eventos pueden ser, por ejemplo, cambios en el método de producción del hidrógeno, puesta en marcha de la instalación, reparaciones o mantenciones de los sistemas involucrados en toda la cadena de valor, y otros similares.

11.1.3 Problemas del análisis de impurezas del hidrógeno

El análisis de todas las impurezas del hidrógeno indicadas en las normas ISO 14687, EN 17124 y SAE J2719 es caro debido a que para varias impurezas los análisis son poco corrientes y las concentraciones umbral exigidas son extremadamente reducidas, lo que hace que haya pocos laboratorios que los puedan realizar. De acuerdo con entrevistas realizadas a laboratorios especializados, el análisis de todas las especies requeridas cuesta del orden de USD 20.000, lo que puede representar el 1% del costo de instalar una HRS (~USD 2.000.000). En consecuencia, implementar el protocolo de control de calidad puede ser muy caro.

11.1.4 Reducción del costo del protocolo de control de calidad

Las tres normas que exigen el protocolo reconocen el problema del alto costo de analizar todas las impurezas y de que los análisis rutinarios sean muy frecuentes. Para reducir el costo proponen limitar el protocolo de control de calidad al análisis de sólo las impurezas críticas. La selección de cada impureza crítica se hace considerando la probabilidad de que ella se encuentre presente excediendo los umbrales de la norma, y la gravedad de las consecuencias de esta eventualidad. Las tres normas mencionadas describen las consecuencias de cada impureza controlada para las celdas de combustible PEM y los sistemas de hidrógeno, y dan información general sobre la procedencia de ellas. Con esta información general se podría hacer un análisis de riesgo para establecer en cada caso cuáles son las impurezas más riesgosas, consideradas críticas, que deberían ser analizadas.

11.1.5 Diseño del protocolo de control de calidad

Las normas referidas presentan dos alternativas para diseñar el protocolo de control de calidad. El diseño consiste en establecer cuándo hacer análisis y qué impurezas analizar. El cuándo se refiere al período o frecuencia, de los análisis rutinarios, o al evento, para los análisis no rutinarios. Las alternativas son dos: 1)

plan de control de calidad prescriptivo, y 2) plan de control de calidad basado en una evaluación de riesgo, también llamado “basado en el comportamiento” en el ámbito de la seguridad y riesgo.

El protocolo prescriptivo de control de calidad consiste en un listado preestablecido de las impurezas por analizar y su frecuencia. Parece razonable que este listado sea establecido por un tercero, ya sea un órgano normativo, como ISO, o una autoridad reguladora, pero las normas no especifican quién debe diseñar el protocolo. Idealmente, debería estar apoyado por una evaluación de riesgo. Las normas NCh3888/8 y la ISO 19880-8 entregan varios planes de control de calidad para casos específicos en un anexo informativo. Ellos corresponden a la regulación japonesa y no son exigidos por la norma, que los presenta como información referencial.

El plan de control de calidad basado en una evaluación de riesgo se establece haciendo una evaluación del riesgo de cada impureza para el caso específico donde se aplique el protocolo de control de calidad.

La ventaja del plan de control de calidad prescriptivo es que es fácil de aplicar y de fiscalizar por la autoridad. Los inconvenientes son que no siempre podrán ser aplicados ya que no se puede incluir todos los casos posibles, y que no parece haber consenso en el comité normativo de la ISO (TC 197). La ventaja del plan basado en una evaluación de riesgo es que se aplica a cualquier caso; los inconvenientes son que es más difícil y caro de desarrollar, más difícil de fiscalizar y que no hay suficientes datos para hacer una evaluación con baja incertidumbre.

11.1.6 Presencia de impurezas

La presencia de impurezas depende de dos grandes factores: 1) método de producción del hidrógeno y 2) contaminación del hidrógeno en distintos puntos de la cadena de valor.

El método de producción del hidrógeno es el principal factor de introducción de impurezas. Los principales métodos de producción de hidrógeno los podemos clasificar en cuatro tipos: 1) electrolisis del agua, 2) procesamiento de combustibles convencionales, 3) como subproductos de otros procesos, y 4) procesamiento de biomasa. La electrólisis produce un hidrógeno de gran pureza, por lo que los contaminantes por analizar son pocos y de naturaleza común. El procesamiento de combustibles convencionales (metano, carbón, otros) puede introducir varias impurezas, distintas de las que introduce la electrólisis del agua. La producción de hidrógeno como subproducto de otros procesos introducirá contaminantes específicos para cada caso. Por último, la producción de hidrógeno a partir de la biomasa introduce impurezas que no se han estudiado todavía, por lo que no hay mayores antecedentes. La diferencia entre las impurezas que pueden aportar los distintos medios de producción de hidrógeno hace necesario diferenciarlos para el diseño del protocolo de control de calidad. Por esto es conveniente implementar un sistema de certificación del método de producción, para que el responsable del suministro de hidrógeno diseñe adecuadamente su protocolo de control de calidad, suponiendo que él recibe el hidrógeno de terceros. Mejor aún sería un certificado de calidad del proveedor de hidrógeno, lo que reduciría su protocolo de control de calidad sólo a las impurezas que su instalación pudiera introducir.

En el almacenamiento y transporte de hidrógeno se pueden introducir impurezas si los tanques y cañerías no son dedicados a este combustible, y cuando se hacen labores de reparación y mantención que abren el sistema y lo expongan al aire, agua y, eventualmente, a otros agentes (como productos de limpieza).

Finalmente, las ESH normalmente tienen compresores que podrían contaminar el hidrógeno con lubricantes, dependiendo del tipo de compresor. Adicionalmente, las labores de reparación y mantención pueden introducir las mismas impurezas mencionadas para el almacenamiento y transporte.

11.2 Informes de aseguramiento de la calidad del hidrógeno combustible

Resumen Ejecutivo

Este documento presenta un esquema de informes de aseguramiento de la calidad del hidrógeno combustible, con el objetivo de proporcionar antecedentes para la preparación de un reglamento de calidad por parte del Ministerio de Energía. Se enfoca en el hidrógeno Tipo I (gas), pero también aplica al hidrógeno Tipo II, y se basa en las normas ISO 14687:2020 y 19880-8:2019.

El aseguramiento de la calidad del hidrógeno es crucial debido al alto costo de los análisis químicos para detectar contaminantes. Cada etapa de la cadena de valor (producción, importación, transporte, almacenamiento y distribución, y expendio al público) debe realizar su propio plan de aseguramiento de la calidad, que incluye el control de calidad, entre otras cosas, para garantizar que el hidrógeno cumpla con las normas de calidad establecidas.

Se recomienda que estos controles incluyan solo los contaminantes que cada etapa pueda introducir, y que se emitan documentos de aseguramiento de calidad para garantizar que el producto entregado cumple con los estándares desde su producción hasta su entrega final al usuario o consumidor. El tipo y características de estos documentos serán definidos por el regulador. La implementación de este esquema ayudará a optimizar los procesos de control de calidad y asegurar la calidad del hidrógeno combustible en todas las etapas de su cadena de valor, además de facilitar su fiscalización.

11.2.1 Introducción

Este documento discute algunas ideas sobre el control de calidad del hidrógeno combustible y propone un esquema de informes de aseguramiento de su calidad. Su objetivo es proporcionar antecedentes para la preparación de un reglamento de calidad del hidrógeno combustible por parte del Ministerio de Energía, y está dirigido a aquellos que participan en el Comité Técnico, la Mesa Técnica y la Mesa Público-Privada. Para un buen aprovechamiento del contenido presentado es necesario que el lector comprenda los conceptos fundamentales de las normas ISO 14687 e ISO 19880-8.

La sección 2 de este documento analiza algunos aspectos del control de calidad del hidrógeno combustible, basado en las normas ISO 14687:2020 y 19880-8:2019, sirviendo de fundamento para la sección 3, que propone un esquema de informes de aseguramiento de la calidad de este combustible. El término “control de calidad” generalmente comprende actividades como medición o apreciación⁸ de propiedades que definen la calidad del producto, medición de variables del proceso que puedan afectar la calidad si están fuera de especificaciones y medidas administrativa y de registro de datos, entre otras. El control de calidad es parte del plan de aseguramiento de la calidad, y el protocolo de control de calidad es un documento que establece las actividades y medidas que comprende el control de calidad, cómo ejecutarlas y cómo registrar los resultados. En esta ocasión, se discuten solo las actividades de medición de la calidad del hidrógeno Tipo I (gas) en las etapas de la cadena de valor, y se propone el diseño de un informe de aseguramiento de calidad. Para el hidrógeno Tipo II (líquido) se aplica el mismo concepto, sólo que los análisis de contaminantes pueden ser distinto, lo mismo que la frecuencia de los controles rutinarios. En síntesis, este informe de aseguramiento de la calidad declara que el que entrega un lote o partida de hidrógeno tiene un plan de aseguramiento de la calidad y lo ha ejecutado correctamente; hay que recordar que el plan de aseguramiento de la calidad incluye el control de calidad, además de otras medidas.

Recordemos que el problema fundamental del control de calidad del hidrógeno es que el costo de los análisis químicos para determinar el contenido de contaminantes es muy alto, y hay que equilibrar este costo con el costo del daño potencial del incumplimiento de la norma de calidad. Este problema se trata en la sección anterior (12.1). Este apéndice propone un esquema de informes de aseguramiento de la calidad, medida administrativa que permite reducir el costo total del control de calidad para el sistema.

11.2.2 Control de calidad en las etapas de la cadena de valor

El esquema de control de calidad más eficiente para toda la cadena es que cada etapa haga el control de calidad del producto que entrega a la etapa siguiente, y que este control de calidad incluya sólo los contaminantes que la etapa puede introducir. De este modo se reduce el número de contaminantes que cada etapa debe analizar, excepto la primera (que es la producción del hidrógeno) que, por no tener una etapa anterior, el número de contaminantes por analizar no cambia con la implementación del control de calidad por etapa. También se reduce el número total de análisis en la cadena de valor ya que, en general, el número de

⁸ Para los efectos de este documento, “medición” es la evaluación objetiva de una propiedad, generalmente expresada como un número; “apreciación” corresponde a la observación de una propiedad, generalmente expresada como una valoración no numérica.

operadores aumenta cuando se avanza en esta cadena. Por ejemplo, un productor normalmente abastece a varios distribuidores mayoristas, y cada distribuidor mayorista entrega a varios distribuidores minoristas.

Sin embargo, para que este esquema funcione, debe implementarse algún documento que le asegure a la etapa que recibe el hidrógeno que la etapa anterior entrega un producto de calidad aceptable. Este documento puede ser un certificado, informe o declaración de aseguramiento de la calidad. De este modo, el que recibe el combustible, tiene una cierta garantía de que, en todas las etapas anteriores y desde su producción, la calidad del hidrógeno ha estado resguardada por un plan de aseguramiento de la calidad. El tipo, nombre y características de estos documentos serán definidas por el regulador y, en lo sucesivo, los llamaremos Informe de Aseguramiento de la Calidad (IAC) como propone la SEC⁹. La sección 11.2.5 propone las características mínimas de los IACs para su discusión.

11.2.3 Cadena de valor del hidrógeno combustible

Para los efectos de la regulación de la calidad del hidrógeno en Chile, podemos considerar que las etapas más corrientes de la cadena de valor de los combustibles en Chile serán: **1) producción, 2) importación, 3) transporte, 4) almacenamiento y distribución, y 5) expendio al público.** La Resolución exenta 19049/2017, que regula el control de calidad de los combustibles líquidos, considera estas etapas más la importación, sin embargo, en este documento no consideramos la importación ya que es poco probable que, en el mediano plazo, Chile importe hidrógeno combustible y, además, permite simplificar el análisis.

Cada una de las etapas señaladas en el párrafo anterior puede introducir ciertos contaminantes al hidrógeno. La descripción detallada de ellos se encuentra en las normas ISO 19880-8:2019, Anexo C, y UNE EN 17124:2022, Anexo B; ambas entregan esencialmente la misma información, pero con algunas diferencias en los anexos. Basado en estas normas, a continuación, hacemos un breve análisis de cuáles son los potenciales contaminantes en las etapas mencionadas. Hay que tener presente que las normas referidas aplican sólo al hidrógeno Grado D, para ser usado en vehículos de carretera. Sin embargo, el concepto aplica a todos los grados, aunque los umbrales y contaminantes críticos¹⁰ serán otros; en general, el Grado D es el de calidad más exigente.

11.2.4 Introducción de contaminantes y control de calidad

Los contaminantes se introducen principalmente en la producción de hidrógeno, debido a sustancias presentes en la materia prima, como helio (He) presente en el gas natural, o generadas en el proceso. Adicionalmente, puede haber contaminación por aire (N₂, O₂, Ar) en todos los casos y etapas, si no se realiza una purga adecuada del sistema antes de su puesta en marcha inicial o después de alguna mantención, reparación o inspección que requiera abrir el sistema e inundarlo con aire ambiente o purgarlo con nitrógeno. En el caso de mantención, también puede haber contaminación por agua u otro agente de limpieza, como halógenos, si estos no han sido eliminados adecuadamente. Finalmente, si en la etapa que se controla hay compresión, puede haber contaminación por aceites lubricantes (hidrocarburos, THC) u otras sustancias, dependiendo del tipo de compresor.

En las etapas de almacenamiento y transporte en tanques (típicamente mediante camión o ferrocarril), además de los contaminantes introducidos por eventuales mantenciones o reparaciones, como se menciona en el párrafo anterior, puede existir contaminación si los equipos han almacenado otros productos. Si bien los tanques de hidrógeno son normalmente distintos de aquellos construidos para otros gases y su uso se destina solamente a este combustible, ellos podrían usarse para hidrógeno de distintos grados, lo que podría producir contaminación cruzada. En el caso del transporte por gasoducto es más probable que el mismo conducto transporte distintos gases y pueda existir contaminación cruzada. Para los efectos de este documento, nos limitaremos a analizar sólo los casos de almacenamiento y transporte dedicado a un solo grado de hidrógeno. Para el almacenamiento dedicado a hidrógeno de distintos grados, habrá que separar los tanques e instalaciones complementarias según las calidades de hidrógeno que contengan, tomando precauciones para

⁹ Documento “CONSULTAS PARA LA SEC, Respuestas”.

¹⁰ Contaminante crítico es una impureza con nivel de riesgo superior a lo tolerable

que se usen siempre para aquella calidad a la que están destinados. En caso de cambiar uno o más tanques y sus instalaciones complementarias a otra calidad, habrá que purgarlos con la nueva calidad de hidrógeno para asegurar que se ha eliminado toda posible contaminación.

Para ilustrar la diferencia en los análisis necesarios en cada caso, la Tabla 2 presenta un ejemplo de los contaminantes críticos, elaborada a partir de la información contenida en el Anexo B de la norma UNE EN 17124:2022 y en el Anexo C de la norma ISO 19880-8:2019. Hay que notar que los tres primeros contaminantes críticos (en caracteres azules) corresponden a los potencialmente introducidos en la puesta en marcha, mantención o reparación de la instalación, aunque algunos también se producen en algunos procesos de producción. Estos tres primeros contaminantes se deben al aire que inicialmente tiene en su interior la instalación y al agua que ocasionalmente se usa para limpiar o hacer la prueba hidráulica de presión. En ocasiones se usan agentes de limpieza que contienen halógenos, para los ejemplos hemos supuesto que se utilizan sólo en la etapa de dispensado. Los contaminantes derivados del aire se eliminan con un adecuado purgado antes de poner en servicio la instalación. Los derivados de la limpieza se previenen evitando su uso o secando adecuadamente la instalación, en el caso del agua. La producción de hidrógeno es la etapa con mayor contaminación potencial, la que depende del proceso específico, en la tabla mostramos sólo dos procesos: electrólisis de agua y reforma de metano con vapor (SMR). Las etapas 2) transporte y 3) almacenamiento y distribución, tienen el potencial de introducir los mismos contaminantes, por lo que los pusimos en la misma fila de la tabla. Hay que tener presente que en el transporte por gasoducto también puede haber compresores, por lo que consideramos los THC como contaminante crítico, pero esto no aplica si son libres de aceite o no se usan. Finalmente, en la etapa de expendio a público pusimos el caso del dispensado a vehículos.

Tabla 2 Ejemplo de contaminantes críticos por analizar para hidrógeno Grado D¹

Etapa	Contaminantes críticos
Producción por electrólisis de agua	N ₂ , O ₂ , H ₂ O, CO ₂
Producción por SMR ²	N ₂ , O ₂ , H ₂ O, Ar, CH ₄ , CO
Transporte, almacenamiento y distribución ³	N ₂ , O ₂ , H ₂ O
Dispensado a vehículos (compresor lubricado)	N ₂ , O ₂ , H ₂ O, THC ⁴ , halógenos

Notas: ¹ Elaboración propia a partir de información del Anexo B de la norma UNE EN 17124:2022 y del Anexo C de la norma ISO 19880-8:2019.

² SMR: Steam Methane Reforming.

³ Sin compresión, o con compresor libre de aceite.

⁴ Hidrocarburos totales.

Esta tabla no incluye el análisis del material particulado ya que la norma ISO 19880-8:2019 indica que, si hay filtros instalados, no es necesario analizar el particulado (sección C.5) y que es preferible instalar filtros que analizar el particulado (sección C.10). Si bien esto se aplica al dispensado de hidrógeno, parece razonable extenderlo a todas las instalaciones. La norma UNE EN 17124:2022 sugiere lo mismo en la sección B.6, pero no es tan explícita como la ISO 19880-8.

Las secciones 11.2.4.1 a 11.2.4.3 analizan el control de calidad necesario en cada etapa para asegurar que no se han introducido contaminantes en ella.

11.2.4.1 Control de calidad en la etapa de producción de hidrógeno

El punto de partida de la cadena de valor es la producción de hidrógeno, y es la que tiene el mayor potencial de contaminación del combustible, potencial que varía mucho según el método de producción. Por ejemplo, la electrólisis de agua produce un hidrógeno muy puro y los probables contaminantes son poco dañinos ya que, en general, no producen efectos permanentes¹¹. En cambio, la producción de hidrógeno a partir de hidrocarburos o carbón puede introducir varios contaminantes que afectan gravemente las CDC tipo PEM.

¹¹ Ver ISO 19880-8:2019 Annex A.

El protocolo de control de calidad debería incluir el análisis rutinario de los contaminantes críticos según el proceso de producción del hidrógeno, como ilustran las dos primeras filas de la Tabla 2. Respecto a la frecuencia de este análisis, la sección C.6.1.1 de la norma ISO 19880-8:2019 indica “Como regla general, la calidad del producto de una planta es constante independientemente del tamaño de su sistema de producción, siempre que las condiciones de entrada y de operación sean consistentes.” Es decir, mientras no haya cambios en la operación ni en los insumos del sistema de producción de hidrógeno, no habrá cambios en la calidad del combustible. Sin embargo, es razonable pensar en la prudencia de fijar una frecuencia definida para el análisis rutinario de contaminantes, aunque la planta opere por períodos muy largos. Esta práctica prevendría posibles factores impredecibles e indetectables que puedan afectar la calidad. Posiblemente por esta razón, las normas UNE EN referida sugiere una frecuencia anual, pero sin ninguna justificación racional. Por otro lado, la norma ISO 19880-8:2019 se basa en una guía elaborada por la *Japan Association of Hydrogen Supply and Utilization Technology Association*¹² para también sugerir una frecuencia anual. Ante la falta de información práctica de casos reales de control de calidad del hidrógeno durante largo tiempo, lo prudente sería hacer una evaluación de riesgo para validar la frecuencia de estos análisis rutinarios. Sin embargo, no hay antecedentes estadísticos que permitan tener una estimación de la frecuencia, o probabilidad, de ocurrencia de una no conformidad. Por lo tanto, no es posible hacer una evaluación de riesgo creíble.

Por otro lado, para el control de calidad no rutinario hay dos tipos de eventos que lo gatilla: 1) cambio en el proceso de producción, y 2) mantenciones y reparaciones que puedan introducir contaminantes. En el primer caso, habría que analizar los mismos contaminantes del control rutinario, por ejemplo, los mostrados en las dos primeras filas de la Tabla 2. En el segundo caso, habría que analizar sólo los contaminantes potencialmente introducidos por las mantenciones y reparaciones, como son los tres primeros indicados en caracteres azules en cada fila de la Tabla 2, agregando halógenos si se hubiera empleado productos químicos de limpieza.

11.2.4.2 *Control de calidad en las etapas de transporte, y almacenamiento y distribución*

Estas etapas no introducen contaminantes durante la operación normal si los tanques, cañerías y sistemas se mantienen siempre presurizados y transportan siempre la misma calidad de hidrógeno. Sólo en los eventos de llenado inicial (puesta en marcha), mantención y reparación se podrían introducir contaminantes. Por lo tanto, si se puede asegurar que los tanques y sistemas están siempre presurizados, lo que sería parte del plan de aseguramiento de la calidad, los controles rutinarios serían innecesarios. Por otro lado, se puede argumentar que todo sistema de aseguramiento de la calidad es falible y que, por lo tanto, se necesitan los controles rutinarios. Si aceptamos este argumento, surge el problema de establecer la frecuencia sin existir experiencia conocida en esta materia. Otro argumento para no hacer controles rutinarios es que, si la contaminación se produce porque en una ocasión el tanque o sistema fue despresurizado, los contaminantes se diluirán pronto y es muy difícil que el evento coincida con el control rutinario que se haría en períodos de varios meses o años; por lo tanto, difícilmente se detectaría dicha contaminación.

En conclusión, el control rutinario sería innecesario, o con frecuencia muy baja (cada varios años), y el control no rutinario se haría cuando haya procedimientos de puesta en marcha (sistemas nuevos), mantención o reparación que impliquen la apertura del sistema. Ejemplo de los contaminantes mínimos que se deben analizar tanto en controles rutinarios como no rutinarios son los indicados en la tercera fila de la Tabla 2, a los que habría que agregar halógenos, si se han usado productos químicos de limpieza, y THC, si hay compresores de hidrógeno lubricados.

11.2.4.3 *Control de calidad en la etapa de expendio*

El análisis de esta etapa es similar a las de almacenamiento y transporte, con la diferencia que es más probable que existan compresores lubricados. Por ejemplo, en el dispensado de hidrógeno a vehículos es necesario comprimir el combustible, ya en estos se almacenan a presiones entre 350 bar y 700 bar y los

¹² HySUT Guidelines, <http://hysut.or.jp/information/index.html>. Recomendamos obtener esta guía para la elaboración futura de protocolos prescriptivos de control de la calidad del hidrógeno.

tanques de almacenamiento están normalmente a presiones significativamente menores. Lo mismo ocurriría en el llenado de cilindros a alta presión. Dada esta similitud, las conclusiones son las mismas, con la excepción de que la frecuencia de los eventuales controles rutinarios debería ser mayor para instalaciones de mayor complejidad como el dispensado a vehículos y llenado de cilindros, y que los contaminantes críticos incluirán los THC en más casos, ya que la existencia de compresores es más frecuente, pero estos pueden ser libres de aceite.

En conclusión, el control rutinario sería innecesario o con frecuencia baja (cada 12 o más meses), y el control no rutinario se haría cuando haya procedimientos de puesta en marcha (sistemas nuevos), mantención o reparación que impliquen la apertura del sistema. Ejemplo de los contaminantes mínimos que se deben analizar tanto en controles rutinarios como no rutinarios son los indicados en la cuarta fila de la Tabla 2, a los que habría que agregar halógenos, si se han usado productos químicos de limpieza, y habría que restar THC, si los compresores de hidrógeno son libres de aceite.

11.2.4.4 Comentarios sobre la frecuencia de los controles de calidad rutinarios

La forma más racional de fijar la frecuencia de los controles de calidad rutinarios es mediante un análisis de riesgo. Sin embargo, no hemos encontrado información sobre la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de concentraciones de contaminantes por encima de los umbrales, ni la magnitud del daño en función de la excedencia de dichos umbrales. Ambos datos son fundamentales para la evaluación de riesgo. Un intento de proporcionar información de lo último es la Tabla 5 de la sección 5.4 de la norma UNE EN 17124:2022.

Las normas referidas no se pronuncian ni argumentan sobre la frecuencia de los controles rutinarios, pero en todos los ejemplos que presentan en anexos no normativos usan una frecuencia anual. Esta frecuencia parece razonable, en nuestra opinión, para la producción y dispensado de hidrógeno a vehículos, pero puede ser excesiva para el almacenamiento y transporte.

A falta de experiencia de control de calidad del hidrógeno combustible, parecería apropiado estudiar la experiencia en control de calidad de combustibles líquidos, GLP y GN. Sin embargo, es arriesgado extrapolar estas experiencias al hidrógeno ya que sus características de producción, almacenamiento, transporte y consumo son muy distintas y los análisis requeridos para el control de calidad del hidrógeno son mucho más caros, por lo que el control de calidad rutinario debería ser menos frecuente. Por otro lado, los umbrales de contaminantes del hidrógeno son mucho menores que para los combustibles convencionales, lo que hacen más probable la ocurrencia de contaminación crítica en hidrógeno. Por ejemplo, la contaminación con aire debido a mantenciones o reparaciones no tiene la misma importancia para el GN y el GLP.

El control de calidad de los combustibles líquidos está regulado por la REX 19049/2017 (MEN-SEC) ESTABLECE LAS ACTIVIDADES MÍNIMAS QUE DEBERÁN REALIZAR LAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS PARA EL CONTROL PERMANENTE DE LA CALIDAD DE LOS COMBUSTIBLES LÍQUIDOS. Este reglamento divide las actividades en cinco tipos de instalaciones: 1) importación, 2) producción, 3) transporte, 4) instalaciones de almacenamiento y distribución, y 5) establecimiento de expendio al público. Este reglamento establece actividades de control de calidad para las cinco instalaciones indicadas, los que consisten en informes de ensayo de calidad, análisis de calidad y control de sellos de tanques de transporte vial y ferroviario, los que se resumen en la Tabla 3. Se aprecia que los análisis rutinarios se hacen mensualmente, y los no rutinarios se realizan cuanto se recibe o despacha una partida o lote, y cuando se realizan operaciones que puedan afectar la calidad del producto. Si se quisiera aplicar al hidrógeno la práctica de hacer análisis rutinarios mensuales, y no rutinarios con el despacho o recepción de una partida de combustible, el costo del control de calidad sería excesivamente alto.

Tabla 3 Resumen del control de calidad de combustibles líquidos (REX 19049/2017)

Instalación	Ocasión	Informe ensayo ¹	Análisis ²	Control de sellos ³
Importación	Partida	X		
Producción	Partida	X		
Transporte	Cabotaje, carga y descarga		X	
	Oleoducto, despacho	X		
	Vial y ferroviario			X
Almacenamiento y distribución	Recepción, operación que afecte calidad		X	
	Mensual, al menos		X	
	Despacho			X
Expendio al público	Recepción			X
	Mensual, plan “reducido”, “normal” o “riguroso” según historial		X	

¹ Informe del laboratorio acreditado que ha realizado los ensayos requeridos.

² Corresponde a los análisis que debe realizar el operador de acuerdo a lo requerido por la resolución.

³ El operador que recibe la partida debe revisar la integridad de los sellos de los tanques, verificando que sus números correspondan a los que figuran en los documentos de despacho de la partida.

11.2.5 Informes de aseguramiento de la calidad

El plan de aseguramiento de la calidad es requerido por el capítulo 8 de la ISO 19880-8:2019 y el capítulo 5 de la UNE EN 17124:2022. El esquema de control de calidad presentado en el capítulo anterior corresponde a los requerimientos del capítulo 6 de la norma ISO 19880-8 y los capítulos 6 a 8 de la UNE EN 17124, y los anexos correspondientes de ambas normas. Sin embargo, para que este esquema funcione, es preciso establecer un sistema administrativo que permita a cada etapa de la cadena de valor tener una cierta garantía de que las etapas anteriores han aplicado un plan de aseguramiento de la calidad adecuado. De lo contrario, la etapa final de venta al consumidor deberá hacer los análisis de la etapa de producción, sin saber el método de producción, y con una frecuencia mayor para compensar la falta de un plan de aseguramiento de calidad de las etapas anteriores. Para esto proponemos establecer Informes de Aseguramiento de la Calidad (IAC) que se emitan y entreguen en cada transacción. Estos informes deberían ser parte de la documentación que acompaña la transferencia de cada partida de combustible. El informe de aseguramiento de la calidad es un documento emitido por el responsable de la calidad del hidrógeno en el que declara que ha aplicado correctamente el plan de aseguramiento de la calidad, incluyendo los controles de calidad que este estipula.

11.2.6 Emisión y recepción de los IACs

La Figura 1 ilustra el esquema de emisión y recepción de IACs en las distintas etapas de la cadena de valor señaladas en la sección 11.2.3, organizadas en cadenas de valor que podrían crearse. Existen otras cadenas posibles no mostradas en esta figura, pero estimamos que las ilustradas son aquellas que tienen mayor probabilidad de crearse. En cuanto a la distribución, hemos considerado la existencia de distribuidores mayoristas y minoristas. El esquema se aplica a cualquier calidad de hidrógeno.

La aplicación de los IACs se basa en que quién despacha una partida de hidrógeno emite un IAC que entrega al que recibe el producto, si entrega directamente el hidrógeno, o al transportista, en caso contrario. El transportista recibe el IAC del que despacha el hidrógeno, emite el IAC que le corresponde y entrega ambos al que recibe el producto. En las cadenas más largas, donde hay otros participantes, cada participante emite un IAC y lo entrega al que recibe el producto, junto con los IACs de los participantes anteriores. El conjunto

de IACs que se entrega al que recibe el hidrógeno debe ser parte de la documentación requerida, como ser la factura o guía de despacho.

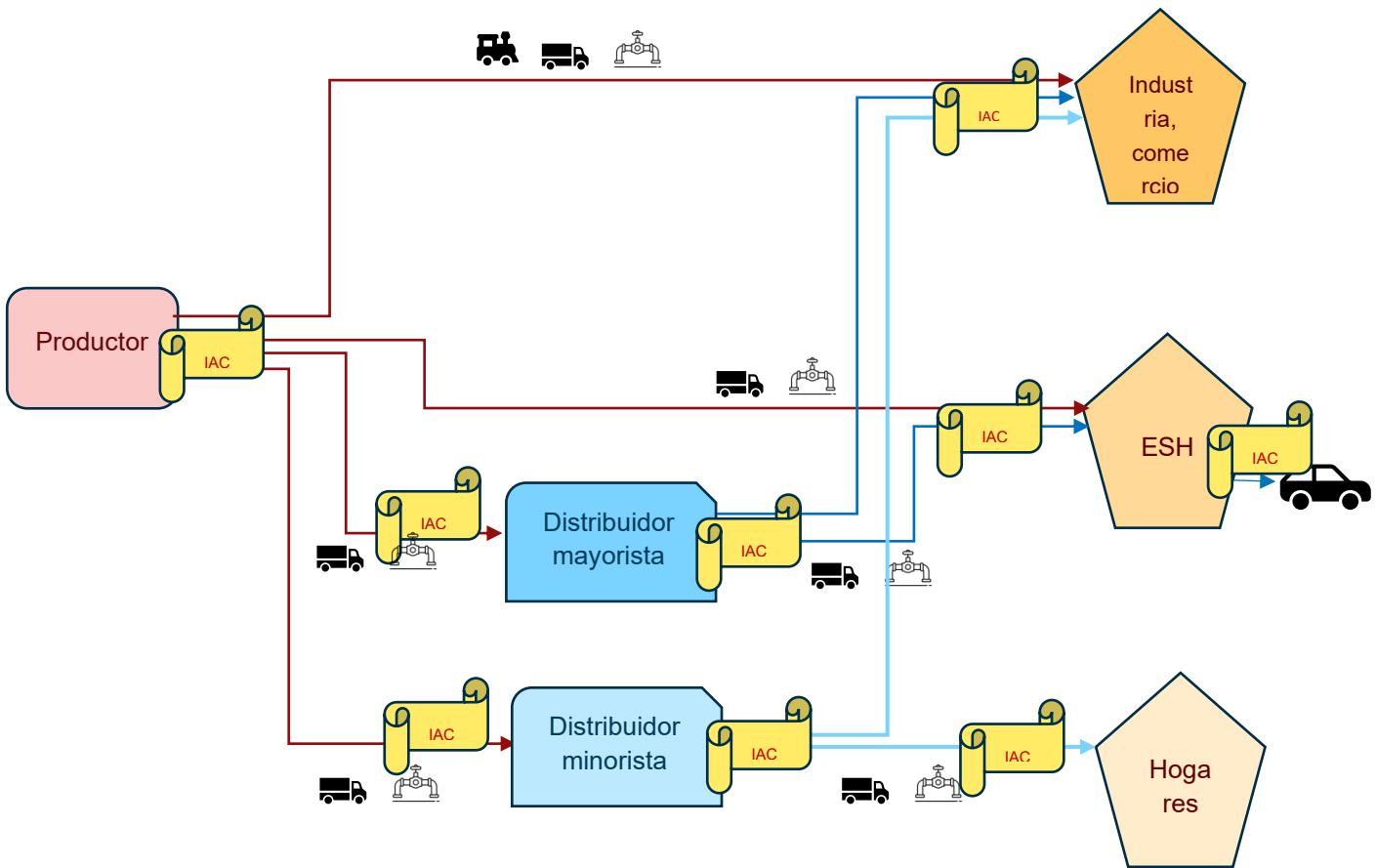


Figura 1 Ilustración de emisión y recepción de los IAC

La Figura 1 ilustra la operación de IAC. El responsable de la calidad del hidrógeno en cada etapa de comercialización, incluyendo al transportista, debe emitir un IAC para entregar al que recibe el hidrógeno. Las etapas de transporte muestran los medios previsibles para un mercado aún inexistente. Cada línea indica un solo origen y destino para la transferencia y una sola calidad del producto; las líneas que se cruzan no implican una conexión entre ellas; el IAC que está al inicio de la línea es emitido por el que despacha el producto y el IAC que se encuentra al final de la línea es emitido por el transportista. Por simplicidad del esquema no se muestran todas las posibilidades de transferencia del producto.

Una variación a este esquema es que cada IAC declare haber recibido conforme todos los IACs de las etapas anteriores. Sin embargo, esta alternativa haría más complicada la emisión de los IACs y dificultaría la trazabilidad de la calidad del hidrógeno, por lo anterior, no la consideraremos para simplificar la discusión.

Para la venta al público proponemos un esquema distinto, ya que parece complicado emitir y entregar una gran cantidad de IACs a consumidores que difícilmente lo exijan. En este caso proponemos que el expendedor emita un IAC para la instalación, con una duración definida, y que este sea enviado a la SEC cuando se genera y que sea exhibido en un lugar donde los clientes lo puedan ver. La duración de este IAC deberá ser analizada y aprobada por la autoridad que genere el reglamento de operación de los IACs. Como punto de partida, sugerimos una validez de una semana.

11.2.7 Contenido de un IAC

Cada IAC tendrá los siguientes contenidos:

1. Identificación del emisor y fecha de emisión

2. Identificación del grado del hidrógeno despachado, y su categoría si es Grado E¹³.
3. Declaración del origen del hidrógeno¹⁴ y de todas las etapas anteriores a la que emite el IAC, partiendo por la producción.
4. Referencia al plan de aseguramiento de la calidad del hidrógeno¹⁵, el que deberá estar disponible en las instalaciones del emisor del informe y, eventualmente, registrado y disponible en la SEC.
5. Indicación de la frecuencia de los controles rutinarios y de los eventos que gatillan un control no rutinario, y de los contaminantes a analizar en cada control.
6. Resumen del último análisis de contaminantes del hidrógeno, identificando al laboratorio acreditado que lo hizo y la fecha correspondiente, e indicación de si es un control rutinario o no rutinario.
7. Declaración de que el plan de garantía de calidad se ha aplicado correctamente, sin desviaciones importantes, entre la fecha del último análisis y la de emisión del IAC.
8. Declaración de que la instalación está dedicada al hidrógeno del grado y categoría, si corresponde, identificadas en el ítem 2, y que no ha producido, almacenado, transportado ni procesado otro grado y categoría, si corresponde, entre la fecha del último análisis y la de emisión del IAC. Cada etapa declarará lo que le corresponde.
9. Declaración de que no hubo cambios en el proceso, modificaciones, mantenciones o reparaciones que pudieran alterar la calidad del hidrógeno entre la fecha del último análisis y la de emisión del IAC.

Estos contenidos son relativamente constantes y fáciles de completar, siendo la fecha de emisión (ítem 1), el más variable. Posiblemente, el origen y cadena comercial (ítem 3) puedan variar más que los otros ítems. La información del ítem 3 se puede obtener del IAC de la etapa anterior. El ítem 5 es necesario para poder evaluar el ítem 6. Si se desea simplificar al máximo el IAC, recomendamos considerar indispensables los ítems 1, 2, 7 y 8.

11.2.8 Registro del IAC

Conviene establecer que cada IAC emitido quede registrado en la SEC, para hacerlo oficial y facilitar su fiscalización. Idealmente, el registro se haría por Internet en la plataforma de la SEC, y podría obtener automáticamente un QR de modo que lo oficialice y permita su entrega por parte del emisor en formato electrónico o impreso. Este registro debería ser de acceso público, de modo que el interesado de cualquier etapa pueda verificar la validez del IAC que presenta las etapas anteriores.

11.2.9 Conclusión

El esquema de IAC y su aplicación parece sencillo de implementar. Este informe constituye una forma práctica de que cada participante de la cadena de valor implemente y mantenga un plan de aseguramiento de la calidad, como requieren las normas ISO 19880-8 y UNE EN 17124, facilitando su fiscalización primaria por parte de la SEC. Decimos fiscalización primaria debido a que siempre es posible que un IAC contenga afirmación falsa, pero su emisión obliga al operador responsable revisar si cumple con su plan de aseguramiento de la calidad.

¹³ El Grado E está subdividido en tres categorías.

¹⁴ El origen del hidrógeno se refiere al método de producción.

¹⁵ Por ejemplo, fecha, nombre del documento que lo contiene y dónde se puede obtener.

Lo presentado en este documento es una idea preliminar, que debe analizarse, discutirse y complementarse con los detalles necesarios para su implementación práctica.



Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Registered offices
Bonn and Eschborn, Germany

Friedrich-Ebert-Allee 32 + 36
53113 Bonn, Deutschland
T +49 228 44 60-0
F +49 228 44 60-17 66

E info@giz.de
I www.giz.de

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn, Deutschland
T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15

El proyecto Desarrollo del Hidrógeno Renovable en Chile (RH2), es cofinanciado por la Unión Europea y el Ministerio Federal de Desarrollo Económico y Energía de Alemania (BMWE), siendo implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y la Agencia Española de Cooperación Internacional al Desarrollo (AECID).