



Education in Hydrogen Technologies Area

ESTACIONES DE REPOSTAJE DE HIDRÓGENO



Co-funded by
the European Union

Project is supported
within the Erasmus+ programme
2021-1-CZ01-KA220-VET-000028073

CONTENIDO

Contenido.....	2
Introducción	4
Introducción – historia	4
1 Comparación entre un coche de hidrógeno y eléctrico	8
2 Legislación sobre la operación y mantenimiento de estaciones de carga.....	9
2.1 Nomenclatura básica según normas técnicas tpg 304.....	11
2.2 Estaciones de repostaje de hidrógeno–en 17127- estaciones de dispensación de hidrógeno para exteriores con protocolos de repostaje.....	15
2.3 Estaciones de repostaje de hidrógeno - iso 19880-1:2020 - gas hidrógeno - parte 1: requisitos generales	15
2.4 Propiedades del hidrógeno - en 17124 - combustible de hidrógeno - especificación del producto y garantía de calidad para estaciones de llenado de gas hidrógeno - aplicaciones de pilas de combustible de membrana de intercambio de protones (pem).....	16
2.5 Proceso de repostaje – en 17127 (se refiere a sae j2601) - protocolos de repostaje para vehículos ligeros a gas hidrógeno de superficie	17
2.5.1 Conexiones de repostaje – en iso 17268 - dispositivos de conexión para llenar gas hidrógeno en vehículos terrestres.....	19
3 Plantas de llenado de gas técnico.....	19
3.1 Transporte del hidrógeno	21
3.1.1 Transporte de hidrógeno por gasoducto	21
3.2 Normas de seguridad para trabajar con gases industriales	23
4 Partes para construcción de la estación de servicio	24
4.1 Las partes principales de una estación de servicio de hidrógeno	24
5 Funcionamiento y mantenimiento de la estación de carga	30
5.1 Condiciones para el funcionamiento seguro de una estación de carga de hidrógeno.....	30
5.2 Control de funcionamiento de la estación de repostaje de hidrógeno.....	32
5.3 Accidentes en estaciones de carga de hidrógeno.....	33
6 Tipos de estaciones de servicio	34
6.1 Clasificación por tipo de hidrógeno	35
6.2 Distribución por ubicación.....	35
6.3 Clasificación por origen del hidrógeno	36
7 Previsioes de desarrollo	38
8 Resumen.....	42

9	Fuentes.....	43
10	List of imágenes.....	44
11	Lista de tablas.....	45

Cofinanciado por la Unión Europea. Las opiniones y puntos de vista expresados sólo comprometen a su(s) autor(es) y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea ni los de la Agencia Europea de la Educación y Cultura (EACEA). Ni la Unión Europea ni la EACEA pueden ser considerados responsables de ellos."

INTRODUCCIÓN

Este módulo se centra en las estaciones de servicio de hidrógeno. El principal objetivo del módulo es informar al lector de los aspectos básicos del diseño, construcción y operación de estaciones de servicio. La introducción habla de la historia y del desarrollo de las estaciones de servicio de hidrógeno y su uso en el transporte. Se proporciona información sobre las primeras estaciones de servicio de hidrógeno y su posterior desarrollo. En este capítulo también se proporciona información básica sobre el hidrógeno, pero solo una descripción general básica. En las siguientes secciones, esta información se complementa con una descripción general básica de los requisitos legislativos para el diseño y la operación de estaciones de servicio de hidrógeno. Esta sección también presenta al lector una descripción general básica de las normas que afectan la construcción y operación de las estaciones de servicio. El siguiente capítulo da información sobre las estaciones de servicio de gases industriales y, de paso, sobre la producción de hidrógeno y su transporte hasta el lugar de servicio. Estos temas se tratan en profundidad en módulos que se centran en ellos. Otros capítulos tratan de la división de estaciones de servicio, su construcción, unidades estructurales individuales y seguridad operativa. Por ello, también se presentan casos de accidentes ocurridos durante el funcionamiento de las estaciones de servicio. La seguridad de la operación no solo de las estaciones de servicio, sino de la tecnología del hidrógeno en general, es crucial para su futuro desarrollo y uso práctico. El último capítulo está dedicado a las previsiones para el desarrollo futuro de las estaciones de servicio y su uso en el transporte.

INTRODUCCIÓN – HISTORIA

PALABRAS CLAVE

hidrógeno, historia, transporte de pasajeros y mercancías, estaciones de servicio, vehículo eléctrico, infraestructura, repostaje, pila de combustible, Islandia, emisiones, medio ambiente, ecología.

El hidrógeno es el elemento químico gaseoso más ligero y el tercer elemento más abundante en la Tierra. Debido a su alta reactividad, en la naturaleza, se presenta casi exclusivamente en su forma compuesta. Un átomo de hidrógeno consta de un protón en el núcleo y un electrón en la capa. El hidrógeno no contamina el medio ambiente cuando se escapa, por lo que es una fuente de energía libre de emisiones. El hidrógeno es altamente inflamable pero no favorece la combustión. El hidrógeno fue descubierto en 1766 por Henry Cavendish, pero en el momento de su descubrimiento, el hidrógeno no tenía mucho uso. Uno de los primeros usos del hidrógeno en el transporte se produjo

con el desarrollo de globos aerostáticos y dirigibles, en los que el hidrógeno se utilizaba como gas portador junto con el helio. En cuanto al uso de la propulsión de hidrógeno en la actualidad, debemos distinguir entre su uso en pilas de combustible y en motores de combustión interna.

La pila de combustible fue descubierta en 1838 por el científico suizo Christian Friedrich Schönbein, y el primer prototipo funcional fue construido por el científico británico Sir William Grove. Después de la invención de la dinamo, la pila de combustible cayó en la oscuridad parcial y renació en la década de 1960. Esto se debió en gran parte a la investigación cósmica, porque la pila de combustible tiene una relación energía-peso más favorable. Por ejemplo, la nave espacial Apolo estaba equipada con ellos, pero también son la fuente de energía para las naves espaciales de hoy". [3]

Aunque el motor de combustión interna de hidrógeno haya sido el primer motor de combustión interna patentado en 1808 por el alcalde jubilado Issac de Rivaz, su uso práctico remonta a una época muy posterior. El hidrógeno en el motor de Rivaz se obtuvo por electrólisis del agua y "el diseño era... inestable y prácticamente impracticable" [4]. El primer motor de combustión interna de hidrógeno en funcionamiento no se desarrolló hasta un siglo después de la primera patente francesa, en 1920. Su uso se probó por primera vez en los motores de aeronaves de Ricardo y Maybach.

Con los esfuerzos para reducir las emisiones en el transporte y el desarrollo de fuentes de energía libres de emisiones, el uso del hidrógeno como fuente de energía se está desarrollando junto con la movilidad eléctrica. Para bombear hidrógeno en los vehículos, se requieren estaciones de servicio especiales para garantizar un llenado rápido y seguro del depósito del automóvil. El hidrógeno se bombea en forma gaseosa y se comprime a alta presión. La primera estación de servicio de hidrógeno se abrió en 2002 en Reykjavik. [2] Cuando Shell lo inauguró en 2003, solo un automóvil de pila de combustible, un Mercedes-Benz Sprinter y tres autobuses de hidrógeno Daimler Chrysler operaban en Islandia como parte del primer programa de transporte público de la Unión Europea.

Islandia se consideró un lugar ideal para este proyecto piloto porque tiene una gran cantidad de energía hidroeléctrica y geotérmica barata y limpia que se puede utilizar para producir combustible por electrólisis con emisiones mínimas de dióxido de carbono. Esto convirtió a Islandia en pionera en la transición a una economía de hidrógeno, con más de 40 vehículos en circulación en 2007, en su mayoría híbridos Toyota Prius, solo superados por California.

Actualmente, Japón es el país con mayor cantidad de estaciones de servicio de hidrógeno en mundo. En septiembre de 2021 había 154 estaciones de servicio de hidrógeno en funcionamiento en el país. La posición de Japón como proveedor líder de combustible de hidrógeno para automóviles no es sorprendente dado que los fabricantes de automóviles japoneses Toyota y Honda se encuentran entre

los únicos tres fabricantes de automóviles en el mundo que producen automóviles de hidrógeno en masa. [3]

Hay aproximadamente 136 estaciones de servicio de hidrógeno en la Unión Europea. Las primeras estaciones de servicio de hidrógeno se abrieron en 2016, pero su expansión se estancó hasta 2019, cuando el número casi se triplicó en un solo año. El hidrógeno se considera un recurso crítico para lograr reducciones de emisiones y muchos gobiernos apoyan su uso en el transporte. En 2020, la UE vio una caída de 10 estaciones de servicio debido a que el Reino Unido abandonó la UE.

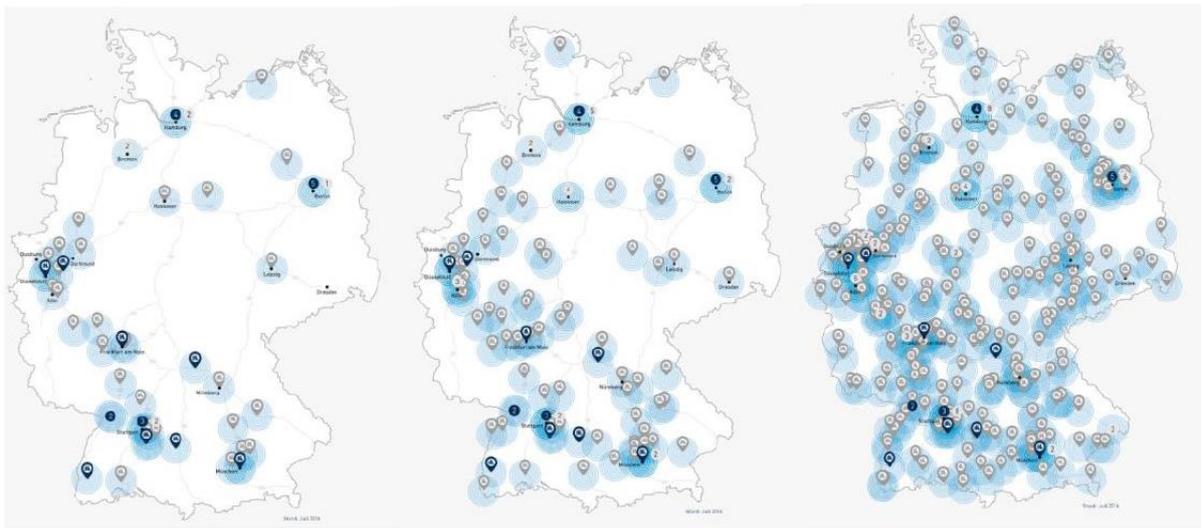


Imagen 1 Red de estaciones de servicio en Alemania en 2016, 2018, 2023 [5]

La primera estación de servicio privada se abrió en República Checa en 1999 en Neratovice, seguida de otra en ÚJV Řež en 2020. En 2022, se abrió la primera estación de servicio pública en República Checa en Ostrava.

Después del Acuerdo de París aumentó el interés en el hidrógeno a escala mundial y más recientemente después de la COP26, el mundo está tratando de encontrar tecnologías innovadoras para reemplazar los combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El hidrógeno ha surgido como una de esas alternativas, particularmente para el sector del transporte. La demanda mundial de hidrógeno ascendió a 71 millones de toneladas en 2019, siendo el sector del refinamiento el principal consumidor. La AIE pronostica que para 2070, la demanda total podría alcanzar más de 500 millones de toneladas, y se espera que el sector del transporte sea el mayor consumidor de hidrógeno. Cuando la infraestructura actual está fallando, no solo se necesita avanzar en la tecnología, sino que también se debe desarrollar la infraestructura necesaria para que los países

alcancen sus objetivos de cero emisiones netas. Solo tres países de Europa han cumplido los requisitos de la UE para una taxonomía sostenible para la producción de hidrógeno utilizando electricidad de las redes nacionales. La mayoría de los países producirían hidrógeno con una alta intensidad de carbono si utilizaran la red eléctrica. Además de la intensidad de carbono del producto, los mayores desafíos globales para la tecnología del hidrógeno, según la encuesta de 2021, fueron su distribución compleja y problemas de suministro y almacenamiento inconsistentes.

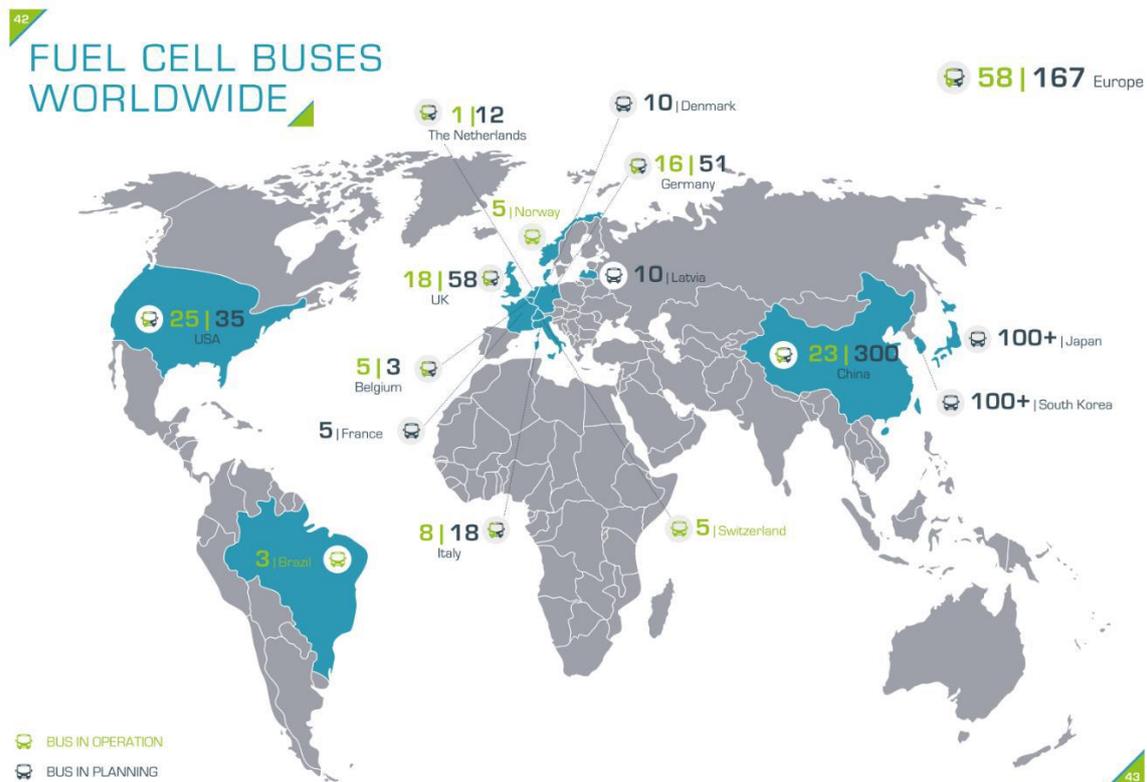


Imagen 2 Estado actual y perspectivas para la expansión de los autobuses propulsados por hidrógeno. [4]

El repostaje se realiza en las estaciones de servicio. Todo el proceso es muy similar al reabastecimiento de combustibles fósiles tradicionales. Después de conectar la pistola de llenado a la válvula del depósito, mueve una palanca y el sistema se encarga de lo demás. Se tardan 5 minutos en llenar un depósito al máximo. Así que el repostaje es similar al de los vehículos GNC/GLP, excepto que en el caso del hidrógeno es gas comprimido, no licuado. Esta diferencia se debe a que se requiere una temperatura de -253°C para licuar el hidrógeno. Lograr una temperatura tan baja sería económica y técnicamente muy desafiante.

1 COMPARACIÓN ENTRE UN COCHE DE HIDRÓGENO Y ELÉCTRICO

Dado el rápido desarrollo de los vehículos eléctricos y su infraestructura asociada, se sugiere una comparación entre este tipo de propulsión y la propulsión de hidrógeno. Aunque se dedican módulos específicos a este tema, vale la pena mencionar aquí al menos alguna información básica.

En el sector de los coches, la principal ventaja de la propulsión de hidrógeno es el tiempo de repostaje, que, dependiendo del tipo de vehículo y estación de servicio, suele ser de minutos (5-10 min). Otra ventaja es que un vehículo de pila de combustible no tiene que llevar tantas baterías, por lo que es más ligero que un vehículo eléctrico puro. El menor peso se traduce en una mayor autonomía, que es casi comparable a la de los vehículos de combustibles fósiles (unos 450-700 km). Una de las ventajas de los vehículos eléctricos es la posibilidad de recargar las baterías en casa. Sin embargo, esta ventaja depende de la instalación de un puesto de recarga y la necesidad de un espacio de estacionamiento privado. La mayor desventaja de los coches propulsados por hidrógeno en comparación con los coches eléctricos es la falta de una red de estaciones de servicio y la pequeña gama de coches propulsados por hidrógeno.

Otros sectores del transporte en los que se puede utilizar hidrógeno como combustible son, en particular, el transporte de mercancías por carretera, el transporte público, la maquinaria de trabajo y manipulación y el transporte ferroviario. En estas áreas, el uso de hidrógeno como fuente de energía parece ser más eficiente que la electricidad pura. Las principales ventajas de la propulsión de hidrógeno son el peso significativamente menor de estos vehículos, la velocidad de llenado y la construcción más sencilla de una estación de servicio en comparación con una estación de carga con la potencia requerida.

PREGUNTAS PARA EL ESTUDIO:

- 1) Dónde y cuándo se abrió la primera estación de servicio de hidrógeno del mundo? [Reikiavik, 2003]
- 2) Qué país tenía la mayor cantidad de estaciones de servicio en el mundo en 2021? [Japón; 154]
- 3) Mencione al menos dos fabricantes de automóviles que produzcan en masa vehículos propulsados por hidrógeno. [Hyundai, Toyota, Honda]

2 LEGISLACIÓN SOBRE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE ESTACIONES DE CARGA

PALABRAS CLAVE

Legislación, norma, ISO, IEC, SAE, HFS, calidad del hidrógeno, comunicación, conexión de llenado, nomenclatura, estandarización, validez, seguridad, proceso de llenado, protocolo

Este capítulo se centra en la base legislativa para la operación y el mantenimiento de las estaciones de servicio de hidrógeno (HFS). La legislación relacionada con el diseño de HFS también está relacionada con este tema, por lo que parte de este capítulo también está dedicado a ello. El cumplimiento de las reglamentaciones legislativas es esencial para garantizar el funcionamiento seguro del HFS y garantizar su longevidad. En este capítulo se introduce al lector en la terminología básica según la legislación vigente y se explican los conceptos básicos. La legislación dentro de la UE está determinada por las normas europeas, pero algunos detalles operativos y técnicos pueden especificarse en las reglamentaciones nacionales, como las reglamentaciones contra incendios. Las principales organizaciones internacionales que emiten normas técnicas son ISO (Organización Internacional de Normalización), IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) y SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices). Dentro de estas organizaciones, los estándares son desarrollados por miembros del TC (Comité Técnico) del CEN (Comité Europeo de Normalización) y miembros del CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica). El desarrollo de las normas legislativas es muy rápido y, en el contexto del desarrollo de la tecnología del hidrógeno, existe una constante evolución y modificación de las normas existentes y la creación de otras nuevas. [17]

Los principales TC de CEN/CENELEC para las normas relacionadas con el hidrógeno son:

CEN/CLC/TC 6 - Hidrógeno

CEN/TC 23 Cilindros de gas transportables

CEN/TC 69 Válvulas Industriales

CEN/TC 185 Cierres

CEN/TC 197 Bombas

CEN/TC 234 Infraestructura gasista

CEN/TC 235 Reguladores de presión de gas y equipos de seguridad relacionados para su uso en la transmisión y distribución de gas en la industria del gas

CEN/TC 236 CEN/TC 236 Válvulas de cierre manuales no industriales para distribución de gas y combinaciones de válvulas especiales - otros productos

CEN/TC 238 Gases de prueba, presiones de prueba, categorías de aparatos y aparatos de gas.

CEN/TC 268 Comisión de recipientes criogénicos y aplicaciones específicas de la tecnología del hidrógeno.

Como los problemas y el alcance de estos estándares van más allá del alcance de este módulo, a continuación se describirán los estándares específicamente relacionados con la construcción y operación de HFS. [17]

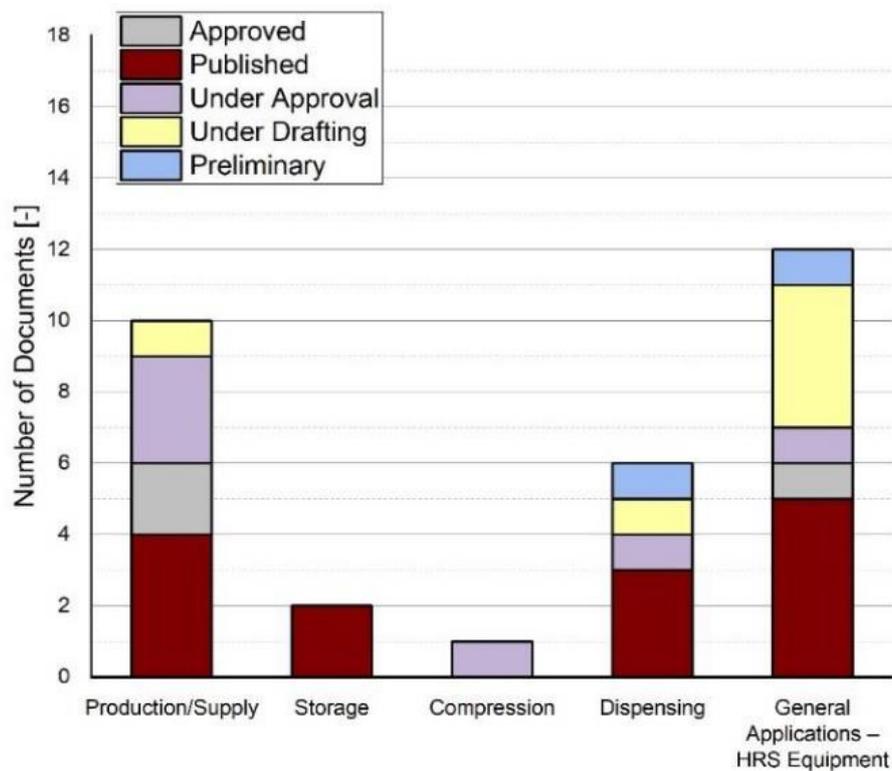


Imagen 3 Estado de desarrollo de las normas CEN y CENELEC para HFS. [17]

La legislación sobre HFS en la UE está regulada principalmente por las siguientes normas [12]:

Estaciones de servicio de hidrógeno – EN 17127 - Estaciones de suministro de gas hidrógeno para exteriores con protocolos de llenado; ISO 19880-1:2020 - Gas hidrógeno - Estaciones de servicio - Parte 1: Requisitos generales

Propiedades del hidrógeno - EN 17124 - Combustible de hidrógeno - Especificación de productos y garantía de calidad para estaciones dispensadoras de gas hidrógeno - Aplicaciones de pilas de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM) para vehículos

Propiedades del hidrógeno - EN 17124 - Combustible de hidrógeno - Especificación de productos y garantía de calidad para estaciones dispensadoras de gas hidrógeno - Aplicaciones de pilas de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM) para vehículos

proceso – EN 17127 (se refiere a SAE J2601) - Protocolos de repostaje para vehículos ligeros de gas de hidrógeno

SAE J2799 – Hardware y software para comunicación entre vehículos y estaciones de hidrógeno

Conexiones de repostaje – EN ISO 17268 - Dispositivos de conexión para el repostaje de hidrógeno en vehículos.

Antes de discutir los estándares individuales, es esencial familiarizarse con la terminología básica. Para facilitar la referencia, la norma checa TPG 304 03 - Estaciones de servicio de gas hidrógeno para equipos móviles se ha desarrollado para simplificar la orientación básica necesaria para el diseño, construcción, fabricación, operación y mantenimiento de HFS. A partir de esta norma se elaboran los términos necesarios de la terminología básica. El conocimiento de esta terminología es necesario para una correcta orientación no solo en los documentos legislativos, sino también en los reglamentos y los escritos técnicos.

2.1 NOMENCLATURA BÁSICA SEGÚN NORMAS TÉCNICAS TPG 304

Distancia segura: la distancia entre la fuente del peligro y el objetivo (personas, equipos, entorno) que garantiza un riesgo aceptable hasta un límite previsible. La estación de servicio de hidrógeno es tanto la fuente del peligro como el objetivo. La situación es la misma con el equipo alrededor de la estación de servicio de hidrógeno en relación con ella. La distancia de seguridad se puede reducir con medidas de seguridad adicionales

Distancia de seguridad – la distancia mínima entre la fuente de un peligro y un objeto que es necesaria para mitigar el efecto de un evento probable previsible y evitar que un incidente menor se convierta en un incidente mayor.

Evaluación de riesgos de operación de estaciones de servicio de hidrógeno: determinación de un valor de riesgo cuantitativo o cualitativo para situaciones específicas y peligros reconocidos de una estación de servicio de hidrógeno en condiciones normales de funcionamiento. El informe de evaluación de riesgos del comité es parte de la documentación del proyecto.

Compresor: un dispositivo que comprime el hidrógeno suministrado a través de la línea de succión para que llegue al menos a la presión máxima de operación del depósito del automóvil.

Desconexión mecánica: un dispositivo que evita que la manguera de llenado se rompa, dañe el dispositivo dispensador y desaloje el acoplamiento rápido de llenado.

Presión máxima de trabajo (MWP): la presión máxima a la que se puede someter la estación de servicio de hidrógeno en funcionamiento en una posición de proceso dada, independientemente de la temperatura del hidrógeno, antes de la intervención por medios para garantizar que no se exceda o reduzca de manera segura, p.ej. por válvulas de seguridad.

Contingencia – Cualquier situación no planificada en la operación normal de una estación de servicio de hidrógeno que puede causar o causará daños a la salud, daños o pérdidas a la propiedad, materiales, daños ambientales o pérdida de negocios.

Zona de peligro: un área en la que existe o puede existir una atmósfera explosiva en tal cantidad que se deben tomar precauciones especiales en el diseño, la instalación y el uso de la estación de servicio de hidrógeno.

Estación de servicio de hidrógeno no pública: una estación que atiende a un grupo cerrado de clientes, ej. la estación de una empresa.

Presión nominal de trabajo (NWP): la presión a la que se ajusta el dispositivo a una temperatura de hidrógeno de 15 °C; los valores típicos para automóviles son 700 bar, para autobuses y camiones 350 bar

Operador: una persona calificada para operar el equipo.

Restrictor de flujo de hidrógeno: dispositivo que cierra el flujo de hidrógeno cuando se alcanza un límite de flujo de hidrógeno predeterminado, que suele ser de 60 g/s de hidrógeno.

Sobrepresión de repostaje – La presión a la que se suministra el gas al automóvil.

Conexión de repostaje: un componente de un estante o aparato dispensador que consta de una conexión flexible (manguera de repostaje), una desconexión mecánica y un acoplamiento rápido de llenado.

Estación de repostaje de hidrógeno: un dispositivo para llenar los depósitos de presión de automóviles con hidrógeno comprimido. Consta de una fuente de hidrógeno, un compresor, una unidad de refrigeración, depósitos de almacenamiento de alta presión, equipos de dosificación y, en su caso, otros accesorios.

Estación de repostaje lento: una estación de repostaje sin depósito de almacenamiento de hidrógeno comprimido a alta presión, donde el depósito del automóvil se llena directamente desde la línea de descarga del compresor.

Presión de trabajo (WP): la presión más alta esperada para una estación de llenado de hidrógeno en una posición de proceso determinada en funcionamiento normal.

Área sin riesgo de explosión: un área en la que no se espera que haya una atmósfera explosiva en cantidades tales que se deben tomar precauciones especiales en el diseño, instalación y uso de la estación de servicio de hidrógeno.

Prueba de fugas de presión operativa: una prueba de fugas que se lleva a cabo en un equipo en funcionamiento.

Estación de llenado rápido: una estación de llenado con un depósito de hidrógeno comprimido a alta presión, que permite el repostaje rápido del depósito de uno o más coches simultáneamente por sobrellenado.

Línea de succión: la línea de suministro de hidrógeno desde el tanque de baja presión hasta la entrada del compresor.

Prueba de fugas de presión: un procedimiento para verificar que el equipo bajo prueba cumple con los requisitos de fugas.

Usuario: el operador del automóvil, el conductor del automóvil o el operador de la estación de servicio de hidrógeno, es decir, una persona mayor de 18 años familiarizada con el funcionamiento del equipo de servicio de hidrógeno comprimido.

Estación pública de servicio de hidrógeno: una estación que permite la venta de hidrógeno para dispositivos móviles al público en general de conformidad con la Ley n.º 311/2006 Coll.

Ventilación: el intercambio de aire en un espacio por la acción de la convección natural (acción del viento, gradiente de temperatura), convección forzada (acción del ventilador) o una combinación de ambas.

Hidrógeno: un gas de la calidad necesaria para el funcionamiento de las pilas de combustible; según la norma ISO 14687-2, la pureza del hidrógeno debe ser al menos del 99,97 %.

Filtro de hidrógeno: un dispositivo para eliminar las impurezas mecánicas del hidrógeno comprimido.

Prueba de resistencia a la compresión: un procedimiento para verificar que el equipo bajo prueba cumple con los requisitos de resistencia mecánica.

Atmósfera explosiva: una mezcla de aire con sustancias combustibles, p. hidrógeno, en forma de gases, vapores, nieblas o polvos en condiciones atmosféricas que oscilan entre el límite inferior de explosividad (LEL) y el límite superior de explosividad (UEL) en las que, tras el inicio, la combustión se extiende al volumen de toda la mezcla sin quemar.

Dispensador: un dispositivo dispensador que no cumple la definición de dispensador, pero que realiza una función para dispensar hidrógeno comprimido en condiciones específicas (instalaciones internas, pequeñas estaciones de servicio, estaciones de servicio de desarrollo y otras instalaciones para las que esta solución es apropiada).

Rejilla dispensadora: un dispositivo dispensador de hidrógeno comprimido que no necesita abrirse para funcionar y que está equipado con un manómetro específico para medir la cantidad de hidrógeno dispensado con fines comerciales (en kilogramos) y un dispositivo de control y seguridad para garantizar que se cumplan los requisitos prescritos. se cumplen las condiciones de llenado.

Equipo dispensador: equipo para dispensar y medir la cantidad de hidrógeno comprimido eliminado; estos son bastidores dispensadores y dispositivos dispensadores.

Depósito de almacenamiento de alta presión: un dispositivo utilizado para almacenar hidrógeno comprimido para el llenado rápido de uno o más automóviles simultáneamente mientras se reduce la cantidad de arranques del compresor.

Dispositivo de seguridad: un dispositivo para proteger contra una situación peligrosa que hace que automáticamente se interrumpa el repostaje de un automóvil si se produce una fuga de hidrógeno o se rompe la manguera de llenado.

Dispositivo de refrigeración de hidrógeno: un dispositivo que enfría el hidrógeno; se encuentra aguas abajo de la descarga del compresor

2.2 ESTACIONES DE REPOSTAJE DE HIDRÓGENO—EN 17127- ESTACIONES DE DISPENSACIÓN DE HIDRÓGENO PARA EXTERIORES CON PROTOCOLOS DE REPOSTAJE

Este documento define los requisitos mínimos para garantizar la interoperabilidad de las estaciones de repostaje de hidrógeno, incluidos los protocolos de repostaje, que dispensan hidrógeno gaseoso a los vehículos de carretera (por ejemplo, vehículos eléctricos de pila de combustible) que cumplen la legislación aplicable a estos vehículos. Los requisitos de seguridad y rendimiento de toda la estación de repostaje de hidrógeno, tratados de acuerdo con la legislación europea y nacional pertinente existente, no se incluyen en este documento. [13]

2.3 STACIONES DE REPOSTAJE DE HIDRÓGENO - ISO 19880-1:2020 - GAS HIDRÓGENO - PARTE 1: REQUISITOS GENERALES

Define los requisitos mínimos para el diseño, instalación, puesta en marcha, operación, inspección y mantenimiento, seguridad y, en su caso, rendimiento de las estaciones de servicio públicas y no públicas de HFS que dispensan hidrógeno gaseoso para vehículos ligeros de carretera. La información contenida en este documento también incluye pautas y requisitos para el llenado de vehículos de carretera de servicio mediano. Además, la información contenida en este documento puede ser aplicada a estaciones de servicio de hidrógeno con otros usos como:

- estaciones de servicio para motocicletas, carretillas elevadoras, tranvías, trenes, aplicaciones fluviales y marítimas;
- estaciones de distribución interiores;
- aplicaciones residenciales para la propulsión de vehículos terrestres;
- estaciones de servicio móviles
- Estaciones de servicio de demostración no públicas.

Sin embargo, este documento no aborda otros requisitos específicos que pueden ser necesarios para la operación segura de estas estaciones de servicio.

Este documento contiene requisitos y pautas para los siguientes elementos de una estación de servicio:

- sistema de producción/entrega de hidrógeno
- entrega de hidrógeno por tubería, entrega de hidrógeno gaseoso y/o líquido por camiones o remolques para almacenamiento de hidruros metálicos;
- generadores de hidrógeno in situ que utilicen el proceso de electrólisis del agua o generadores de hidrógeno que utilicen tecnologías de procesamiento de combustible;
- almacenamiento de hidrógeno líquido;
- sistemas de purificación de hidrógeno, según corresponda;
- compresión;
- compresión de gas hidrógeno;
- - bombas y evaporadores;
- almacenamiento de gas hidrógeno;
- equipo de preenfriamiento;
- sistemas dispensadores de gas hidrógeno; [14]

2.4 PROPIEDADES DEL HIDRÓGENO - EN 17124 - COMBUSTIBLE DE HIDRÓGENO - ESPECIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y GARANTÍA DE CALIDAD PARA ESTACIONES DE LLENADO DE GAS HIDRÓGENO - APLICACIONES DE PILAS DE COMBUSTIBLE DE MEMBRANA DE INTERCAMBIO DE PROTONES (PEM)

Este documento especifica las características de calidad del combustible de hidrógeno dispensado en las estaciones de servicio de hidrógeno para su uso en sistemas de vehículos de celdas de combustible de membrana de intercambio de protones (PEM) y los aspectos de garantía de calidad correspondientes para garantizar la consistencia del combustible de hidrógeno. [15]

Cuota total de hidrógeno y gases contaminantes	
Contenido mínimo de hidrógeno puro	99,97 %
Contenido total de otros gases	300µmol/mol
Concentración máxima de gases contaminantes	
Agua (H ₂ O)	5 µmol/mol
Total hidratos de carbono (metano)	2 µmol/mol

Oxígeno (O ₂)	5 µmol/mol
Helio (He)	300 µmol/mol
Total nitrógeno (N ₂) Argón (Ar)	100 µmol/mol
Dióxido de Carbono (CO ₂)	2 µmol/mol
Monóxido de Carbono (CO)	0,2 µmol/mol
Azufres en total (H ₂ S)	0,004 µmol/mol
Formaldehído (HCHO)	0,01 µmol/mol
Ácido fórmico (HCOOH)	0,2 µmol/mol
Amoniaco (NH ₃)	0,1 µmol/mol
Haluros totales	0,05 µmol/mol
Concentración máxima de partículas	1 mg/kg

Tabla 1 Requisitos de calidad del hidrógeno para pilas de combustible de hidrógeno [8]

2.5 PROCESO DE REPOSTAJE – EN 17127 (SE REFIERE A SAE J2601) - PROTOCOLOS DE REPOSTAJE PARA VEHÍCULOS LIGEROS A GAS HIDRÓGENO DE SUPERFICIE

EN 17127 se basa en SAE J2601: protocolos de repostaje para vehículos ligeros de gas de hidrógeno de superficie en el proceso de repostaje. El estándar SAE J2601 define el protocolo y los límites del proceso para repostar hidrógeno en los vehículos. Los límites del proceso (p. ej., la temperatura de entrega del combustible, el caudal máximo, la presión final y la velocidad para alcanzarla) dependen de factores externos como la temperatura ambiente, la temperatura de entrega del combustible y la presión del tanque en el que se llenará el hidrógeno. El estándar SAE J2601 define protocolos estándar para el reabastecimiento de hidrógeno. Estos protocolos se basan en una tabla de búsqueda que utiliza una tasa fija de aumento de presión en el recipiente o en el uso de una fórmula dinámica de tasa de aumento de presión. En este caso, la tasa de llenado se calcula continuamente durante el proceso de repostaje. Cuando se utiliza el protocolo de tabla de búsqueda, se conoce el valor de presión de hidrógeno alcanzado al final del proceso de repostaje, en cambio, el protocolo que utiliza la fórmula de tasa de aumento de presión define el valor máximo de presión de hidrógeno alcanzado durante el proceso de llenado. Ambos protocolos permiten el llenado de hidrógeno con o sin comunicación (entre el dispositivo de llenado y el vehículo). Para el llenado con comunicación se debe utilizar SAE J2799 – Hardware y Software para Comunicación entre Vehículos de Superficie y

Estaciones de Hidrógeno además de SAE J2601. Un factor crítico en el rendimiento del llenado de hidrógeno es la capacidad del HFS para alcanzar la temperatura deseada del hidrógeno entregado. Dependiendo de la temperatura, el hidrógeno entregado se divide en tres categorías, indicadas por la letra "T": T40, T30, T20. La categoría T40 es la más fría. El estándar SAE J2601 define protocolos de llenado para clases de presión de 350 bar y 700 bar y tres categorías de temperaturas de suministro de combustible (-40 °C, -30 °C, -20 °C). También define dos tamaños de sistemas de almacenamiento de hidrógeno. El primer sistema funciona con presiones de 350 y 700 bar y su volumen es de 49,7 l - 248,6 ly el segundo funciona solo con una presión de 700 bar y su volumen es de 248,6 ly superior. [16]

Parameter	Limit
Temperatura mínima del hidrógeno	-40 °C
Temperatura máxima del hidrógeno	85 °C
Presión mínima del dispensador	0,5 MPa
Presión máxima del dispensador	87,5 MPa
Flujo máximo	60 g/sec.

Tabla 2 Límites de rendimiento y seguridad para el repostaje de hidrógeno según SAE J260

SAE J2799 – Hardware y software para la comunicación entre estaciones y vehículos de hidrógeno.

Esta norma especifica los requisitos de hardware y software de comunicación para el suministro de hidrógeno a los vehículos de superficie de hidrógeno (HSV), como los vehículos con pilas de combustible, pero también se puede aplicar potencialmente a vehículos pesados (por ejemplo, autobuses) y camiones industriales (por ejemplo, montacargas) con un tanque de hidrógeno comprimido. Incluye una descripción del hardware y protocolo de comunicación que se puede utilizar para repostar el HSV. La intención de esta norma es permitir el desarrollo armonizado y la implementación de interfaces para el reabastecimiento de hidrógeno.

2.5.1 CONEXIONES DE REPOSTAJE – EN ISO 17268 - DISPOSITIVOS DE CONEXIÓN PARA LLENAR GAS HIDRÓGENO EN VEHÍCULOS TERRESTRES

Este documento define las características de diseño, seguridad y funcionamiento de los conectores para la recarga de gas hidrógeno en vehículos terrestres. Este documento divide los conectores de reabastecimiento de combustible en las siguientes tres partes básicas:

- - Presión y tapa protectora (montada en vehículo).
- Boquilla
- - Dispositivo de comunicación (comunicación entre el vehículo lleno y el HFS)

Este documento está destinado al llenado de conexiones con una presión de trabajo nominal de hasta 70 MPa.

El diseño y tipos de conexiones de llenado se tratan en una sección separada del módulo.

PREGUNTAS DE CONTROL:

- 1) Cuáles son los principales organismos internacionales que emiten normas técnicas? (ISO, CEI, SAE)
- 2) EN ISO 17268: las conexiones de repostaje de gas hidrógeno para vehículos terrestres están destinadas a equipos que funcionan hasta qué presión nominal de trabajo? (70 MPa)
- 3)Cuál es el contenido mínimo de hidrógeno puro para las pilas de combustible? (99,97 %)

3 PLANTAS DE LLENADO DE GAS TÉCNICO

PALABRAS CLAVES

hidrógeno, distribución, cilindros, paquetes de cilindros, llenado, producción, transporte, almacenamiento, gases industriales, seguridad

Los gases industriales son una parte cotidiana de nuestras vidas, ya que se utilizan para producir la gran mayoría de los artículos que utilizamos. Los gases industriales no solo son una parte esencial de los procesos de fabricación en la industria, sino que también son indispensables en el cuidado de la salud, los alimentos, la ingeniería eléctrica, la investigación y muchas otras aplicaciones. Por lo tanto, su uso afecta no solo la vida de todos, sino también el entorno en el que vivimos. Este módulo se centra en el hidrógeno y las tecnologías relacionadas. En esta parte del texto, veremos otros gases

técnicos además del hidrógeno. También encontrará información básica sobre la producción de gases industriales, su transporte y distribución. Las plantas de llenado de gas técnico suministran gases técnicos a los clientes, llenan los tanques de gas técnico vacíos y los transportan.

La producción y distribución de gases industriales es un proceso que se lleva a cabo por empresas internacionales con presencia global. Los productos de sus actividades no son solo gases industriales, sino también productos químicos utilizados en diversas industrias, procesando productos de desecho de la producción química. Los mayores productores y distribuidores de hidrógeno del mundo son Linde, Air Products, Messer, Air Liquide International, Cummins y otros.

En las plantas de llenado de gas industrial, el hidrógeno se almacena en tanques de acero subterráneos o en la superficie. Desde estos tanques, el hidrógeno se llena más en cilindros presurizados o de transporte. Los tanques de almacenamiento presurizados pueden ser reemplazados por tanques subterráneos de gran capacidad en ubicaciones adecuadas. Suelen ser espacios subterráneos creados por la minería. La presión de almacenamiento de hidrógeno es de aproximadamente 110 bar; No se utilizan presiones más altas debido a posibles fugas de gas natural a través del macizo rocoso. Los tanques de almacenamiento subterráneos tienen la ventaja de una gran capacidad y no ocupan espacio en la superficie. La desventaja de este tipo de almacenamiento es la selección de una ubicación adecuada debido a las condiciones geológicas. La expansión de los vehículos de hidrógeno está condicionada a una red suficientemente densa de estaciones de servicio, que debe ser de fácil acceso para los usuarios. Por este motivo, es necesario construir estaciones de servicio en las ciudades y alrededor de las carreteras donde no hay fuentes adecuadas de hidrógeno. Por lo tanto, es necesario importar hidrógeno a las estaciones de servicio de manera similar a las estaciones de servicio de combustibles fósiles o GLP/GNC. En el punto de producción, el hidrógeno se llena en contenedores adecuados para el transporte y luego se transporta al punto de distribución final.

Debido a las características específicas del hidrógeno, se presentan una serie de problemas en su almacenamiento, transporte y distribución, siendo los más importantes:

- Densidad aparente extremadamente baja (3,2 veces inferior al gas natural y 2700 veces inferior a la gasolina).
- El hidrógeno comprimido puede ser explosivo - riesgo de explosión
- Las regulaciones de almacenamiento de hidrógeno son inconsistentes en todo el mundo
- Dificultad para mezclar hidrógeno con gas natural cuando se transporta en tuberías existentes

- El hidrógeno puede aumentar la fragilidad de los materiales con los que se fabrican los equipos de transporte y almacenamiento [18]

3.1 TRANSPORTE DEL HYDRÓGENO

Esta parte del texto introduce al lector al transporte de hidrógeno hasta el punto de distribución final, los medios para transportarlo a las estaciones de servicio. Dado que el tema del transporte de hidrógeno desde el punto de producción hasta el punto final de llenado es de vital importancia para las estaciones de servicio, la siguiente sección se centrará en los medios de transporte de hidrógeno. En el caso de las estaciones de servicio, es fundamental que haya suficiente suministro de hidrógeno para cubrir el consumo diario, incluso si estas estaciones están ubicadas en áreas densas y con poca accesibilidad para los camiones.

Se pueden utilizar tres tipos de transporte de hidrógeno para las estaciones de servicio de hidrógeno:

- 1) Transporte de hidrógeno por gasoducto
- 2) Transporte de gas de hidrógeno envasado por carretera o ferrocarril
- 3) Transporte de hidrógeno licuado
- 4) Transporte de hidrógeno por gasoducto en mezcla con gas natural

3.1.1 TRANSPORTE DE HIDRÓGENO POR GASODUCTO

Las tuberías de hidrógeno están hechas de metal o plástico y se utilizan para distribuir hidrógeno a través de la infraestructura de gas natural existente o mediante la construcción de nuevas tuberías únicamente para el transporte de hidrógeno.

La construcción de nuevos gasoductos de hidrógeno requiere una inversión inicial significativa, pero probablemente sea la forma más fácil de distribuir el gas. Por otro lado, el uso de la infraestructura de gas natural existente requiere costos iniciales más bajos, pero se debe tener cuidado para garantizar que la proporción correcta de hidrógeno esté en la mezcla de gas. También se requiere una mayor inversión en tecnología para separar el hidrógeno del gas natural una vez que llega a su destino. [18] El transporte de hidrógeno a través de tuberías es ventajoso en el punto de producción para abastecer una estación de servicio de hidrógeno diseñada para vehículos de transporte interno o para abastecer

una estación pública de servicio de hidrógeno ubicada en las proximidades de la producción de hidrógeno.

3.1.2 TRANSPORTE DE HIDRÓGENO COMPRIMIDO POR CARRETERA O FERROCARRIL

El transporte de hidrógeno comprimido por carretera o ferrocarril es actualmente el modo de transporte de hidrógeno más utilizado. El hidrógeno se transporta en contenedores presurizados a una presión de 200 bar (definida por el Acuerdo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera – ADR) [19] Para un ejemplo del uso del transporte de hidrógeno y gasolina por camión, podemos usar la comparación publicada en la "Estrategia de Hidrógeno de la República Checa". El mismo camión que transporta hidrógeno comprimido puede transportar 500 kg de hidrógeno (en cilindros a 200 bar de presión). Esto se debe a que los cilindros tienen que soportar presiones muy altas. Un camión con hidrógeno pesa casi lo mismo que un camión sin hidrógeno, la única diferencia son los 500 kg. El tanque de hidrógeno comprimido es robusto. Debido a la baja cantidad de hidrógeno transportado en un solo remolque, este método de transporte solo es económico hasta una distancia de alrededor de 150 km. [19] Cuando se transporta hidrógeno comprimido por carretera o ferrocarril, no es necesario construir una infraestructura de transporte y la cantidad de hidrógeno transportado se puede dosificar adecuadamente. Para la distribución final de hidrógeno, los contenedores de transporte se pueden utilizar como tanques de almacenamiento móviles para estaciones de servicio, eliminando así la necesidad de bombear hidrógeno al tanque de almacenamiento de la estación de servicio. Las desventajas son la distancia limitada, especialmente en el caso del transporte por carretera, y el riesgo de accidentes. [19]

3.1.2 TRANSPORTE DE HIDRÓGENO LICUADO

Una solución alternativa que podría aumentar significativamente la cantidad de hidrógeno transportado es licuarlo. El hidrógeno líquido se almacena a una temperatura de -253 °C. Esto implica una mayor demanda de los materiales utilizados y altos requisitos de energía para la licuefacción, por lo que una gran desventaja es la pérdida de alrededor del 40 % de la energía durante la propia licuefacción. La ventaja de este tipo de transporte es la posibilidad de transportar grandes volúmenes de hidrógeno a distancias considerables (hasta que se construyan los gasoductos adecuados). Las desventajas son el consumo de energía y, en el caso del transporte por carretera, el riesgo de accidentes. [19]

3.1.2 TRANSPORTE DE HIDRÓGENO POR GASODUCTO EN MEZCLA CON GAS NATURAL

Este tipo de transporte utiliza la red de gasoductos existente diseñada para el transporte de gas natural, a la que se le añadiría una determinada cantidad de hidrógeno. Actualmente, la red de gas está técnicamente preparada para adiciones de hidrógeno de hasta un 2 %. Tras modificaciones técnicas, teóricamente sería posible transportar hasta un 10% de hidrógeno. La principal desventaja de este tipo de transporte es la necesidad de separar el hidrógeno del gas natural en el producto final. La ventaja es el mayor caudal de la mezcla de gas natural/hidrógeno a través de la tubería. Este modo de transporte es rentable en grandes volúmenes de transporte y cuando una gran cantidad de clientes se concentran en una región. Según la estrategia alemana de hidrógeno, se necesitan 1 200 vagones, 600 barcos o tuberías de 82 cm de diámetro para transportar 100 000 toneladas de hidrógeno. [19]

3.2 NORMAS DE SEGURIDAD PARA TRABAJAR CON GASES INDUSTRIALES

Trabajar con gases industriales es extremadamente peligroso. El manejo inadecuado de estas sustancias puede tener graves consecuencias, poniendo en peligro la salud y la vida. Dependiendo del tipo de gas utilizado, existen las siguientes categorías de peligro:

- Peligros tóxicos,
- riesgos de incendio,
- Riesgo de explosión.

El trabajo seguro con gases siempre debe comenzar con la creación de una infraestructura adecuada, como instalaciones de gas internas y externas, estaciones de expansión de gas automáticas y de uno y dos lados, instalaciones de alta estanqueidad hechas de tuberías de cobre o acero, así como equipos adicionales. (válvulas reductoras de presión, válvulas de cierre). Los recintos en los que se pueda generar una atmósfera explosiva deben equiparse previamente con sistemas activos de seguridad y ventilación. Los laboratorios o salas de producción deben estar equipados con sistemas de detección adecuados para el tipo de gas y sistemas de escape efectivos para los gases de reacción. Además, debe proporcionarse una ventilación eficaz de las habitaciones, armarios de gas y áreas de almacenamiento. Los cilindros de gases comprimidos deben protegerse contra vuelcos, sobrecalentamiento y daños. Cuando se complete el trabajo, los cilindros de gas deben retirarse y trasladarse a un lugar donde no representen un peligro. Recuerde que existe un alto riesgo de explosión en caso de incendio o transporte inadecuado (se deben utilizar carros especiales para el transporte). Además, no limpie los cilindros usted mismo. También está prohibido almacenar gases inflamables con sustancias incompatibles, p. gases comburentes con gases inflamables o agresivos. Conocer las normas y

reglamentos básicos es la clave para trabajar de forma segura con gases. Vale la pena conocer las normas y reglamentos y educarse unos a otros sobre la seguridad.

PREGUNTAS DE CONTROL

- 1) Puedes nombrar al menos tres tipos de transporte de hidrógeno? (Transporte por gasoducto; Transporte de hidrógeno comprimido por carretera o ferrocarril, Transporte de hidrógeno licuado por carretera o ferrocarril, Transporte de hidrógeno por gasoducto en mezcla con gas natural)
- 2) Por qué es necesario construir estaciones de servicio en áreas urbanas o cerca de carreteras? (debido a la fácil accesibilidad)
- 3) Cuáles son los riesgos cuando se manipulan gases industriales? (riesgo de explosión, riesgo de incendio, riesgos tóxicos)

4 PARTES PARA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTACIÓN DE SERVICIO

El lector aprenderá sobre las partes principales de una estación de servicio de hidrógeno, su propósito y función. Se muestra también cómo se conectan las diferentes partes de una estación de servicio de hidrógeno para formar una unidad funcional y segura. Debido a que una estación de servicio de hidrógeno es un dispositivo complejo que combina elementos eléctricos, mecánicos y de alta presión, es esencial conocer la función de las partes individuales y las normas de seguridad para su mantenimiento y reparación.

4.1 LAS PARTES PRINCIPALES DE UNA ESTACIÓN DE SERVICIO DE HIDRÓGENO

Una estación de servicio de hidrógeno consta de las siguientes partes:

- Tanque de almacenamiento de hidrógeno (subterráneo o no)
- Compresor
- Intercambiador de calor
- Tanque de almacenamiento de alta presión
- Dispositivo de dosificación de refrigeración
- Estante dispensador
- Acoplamiento rápido de llenado

Tanque de almacenamiento de hidrógeno: el hidrógeno que se llenará en la estación de servicio de hidrógeno en los vehículos se almacena con mayor frecuencia comprimido en tanques de almacenamiento presurizados. Debido a que la molécula de hidrógeno es muy pequeña, es necesario seleccionar un material para los tanques de almacenamiento que evite la fuga de hidrógeno a través de la estructura del material. Los recipientes a presión suelen estar hechos de acero o materiales compuestos. En el caso de los contenedores compuestos, se coloca una capa de acero o aluminio en el interior del contenedor para evitar la fuga de hidrógeno. El hidrógeno se almacena en los tanques a una presión de 200 bar. Este sistema de almacenamiento de hidrógeno ha sido probado durante mucho tiempo. La desventaja es el tamaño considerable de los tanques, especialmente en el caso de estaciones de servicio que deben atender a una gran cantidad de vehículos. Los tanques de almacenamiento presurizados pueden ser una parte fija de la estación de servicio y el hidrógeno se canaliza o transporta al sitio en camiones y luego se bombea al tanque. La otra opción es utilizar tanques de almacenamiento móviles, donde el hidrógeno se llena en la estación de servicio de gas industrial y luego este tanque se transporta por carretera o ferrocarril a la estación de servicio. Los tanques presurizados de acero o compuestos se pueden colocar en la superficie o se pueden colocar bajo tierra.

En algunos casos, es posible producir hidrógeno in situ usando electrólisis, eliminando el costo de transportar el hidrógeno a la estación de servicio.

Los dos sistemas siguientes se utilizan principalmente para el almacenamiento de hidrógeno in situ:

-Paquete a granel: un estante que contiene cilindros de gas. Todos los cilindros de gas del paquete a granel están conectados entre sí mediante tuberías y válvulas. Este concepto de almacenamiento es ideal si el sistema se va a expandir más tarde, ya que se puede conectar cualquier cantidad de volúmenes. También se pueden almacenar cantidades muy pequeñas con este concepto.



Imagen 1 paquete a granel [20]

– **Tanque de almacenamiento tubular:** estos tanques de almacenamiento consisten en unidades de almacenamiento largas que se instalan en un marco. Una unidad de almacenamiento tubular tiene una longitud de 6 o 12 metros y puede almacenar grandes cantidades de hidrógeno.



Imagen 2 Tanque de almacenamiento Tubular [20]

Compresor: el compresor comprime el hidrógeno para aumentar la presión y reducir el volumen, lo que permite que se almacene más hidrógeno en el sistema y que el gas fluya de manera eficiente para su dispensación. [22] En el llenado a alta presión (700 bar), se requiere que el compresor presurice el hidrógeno a aproximadamente 950 bar. [23] En el llenado a media presión, el hidrógeno se comprime a una presión de unos 530 bar. [23] Los compresores de pistón de cadena seca con accionamiento electro hidrostático se utilizan para la compresión de hidrógeno. La unidad del compresor consta de dos cilindros de gas verticales coaxiales, cada uno acoplado mecánicamente y accionado por un cilindro hidráulico. El espacio entre los cilindros de gas y de accionamiento evita la contaminación del medio con aceite hidráulico.



Imagen 3 Compresor para estación e servicio [21]

**KEY COMPRESSOR COMPONENTS –
FOR BEST PERFORMANCE AND LONGEST LIFETIME**

PISTON RINGS

- Specially designed for high pressure
- Metallic for optimum cylinder lubrication and to limit the oil content in discharge gas
- Non metallic for special cases

CONCENTRIC VALVES

- Combined suction and discharge
- Compact in size
- Easy to assemble and dismantle
- Metallic/non metallic internals

SMALL END BEARINGS

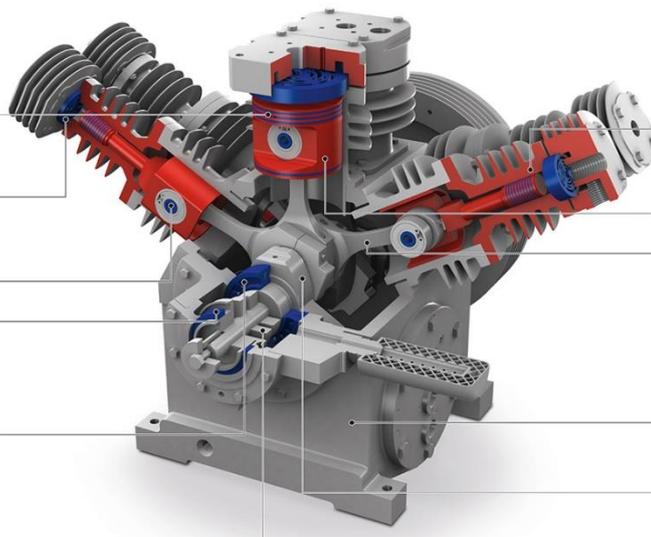
- Cylindrical roller bearings/sleeve bearings with high reliability

SEALS

- Pressure-tight and pressure-relieved
- Oil seal for low suction pressure application
- Mechanical seal for high suction pressure application
- Available in two versions
- No gas loss

MAIN BEARINGS

- Specially designed journal type for H₂ application with high suction pressure
- Angular contact double roller bearings for other applications



**IN-HOUSE DESIGNED AND
MANUFACTURED MAIN PARTS –
FOR HIGHEST RELIABILITY**

CYLINDER

- Single acting
- Specially coated for longer ring life
- No liner required
- Air cooled or water cooled

PISTON

- Wide range of sizes

CONNECTING ROD

- High strength material

**RUGGED DESIGN –
FOR HIGHEST DURABILITY**

CRANKCASE

- Robust and compact design
- Suitable for elevated suction pressure

CRANKSHAFT

- Dynamically balanced

LUBRICATION PUMP

- Highly reliable
- Lobe type
- Crankshaft-driven

Imagen 7 Diagrama del compresor de alta presión [20]

Intercambiador de calor: durante el proceso de compresión, el hidrógeno se calienta de forma no deseada, por lo que el hidrógeno altamente comprimido debe pasar a través de un intercambiador de calor donde se enfría.

Tanque de alta presión: el gas altamente comprimido se almacena en un tanque donde está listo para llenarse en el vehículo. El almacenamiento se controla mediante válvulas, accesorios y controles eléctricos especialmente diseñados para regular la presión e interactuar con el equipo dispensador y el vehículo según sea necesario. [22]

Equipo de dispensación refrigerado: para el llenado, el hidrógeno se enfría a -40 °C para un llenado rápido y eficiente para garantizar una dispensación de hidrógeno segura y el cumplimiento de los protocolos de llenado, es decir, el protocolo J2601.

Rejilla dispensadora: cumple el mismo propósito que la rejilla dispensadora en una estación de servicio convencional. Incluye acoplamiento de llenado, manguera de llenado, tecnología de visualización y control. El terminal de pago se puede ubicar por separado. A través de la pantalla, el usuario puede iniciar cómodamente el proceso de repostaje. A continuación, se sigue una breve instrucción paso a paso hasta que el acoplamiento de llenado esté firmemente sujeto a la boca de llenado de combustible del vehículo. Luego, el hidrógeno a temperaturas de hasta -40 °C fluye a través del acoplamiento de llenado hacia el tanque de hidrógeno del vehículo. La unidad dispensadora puede llenar el tanque del vehículo con una presión de 350 bar y 700 bar. [20]



Imagen 8 Equipos de dosificación [20]

Los dispensadores se instalarán al aire libre bajo un cobertizo de materiales incombustibles, incluso techado. Estarán ubicados de manera que sean fácilmente visibles desde la posición del operador de la estación de servicio de hidrógeno o controlables por circuito cerrado de televisión y para que los vehículos no pasen por las áreas peligrosas que los rodean. El refugio se diseñará para una velocidad del viento de 160 km/h y una carga de nieve en el techo de 100 kg/m², teniendo en cuenta la resistencia sísmica.

– **Acoplador de repostaje rápido:** conecta el equipo dispensador y el vehículo. Proporcionará una resolución de presión de llenado de 350 bar o 700 bar. Para las conexiones de reostaje solo se pueden utilizar mangueras cuyo diseño garantice una conexión conductora con el dispositivo de llenado móvil, que resista el flujo de hidrógeno y a la presión de funcionamiento. La conexión de llenado no debe ser inferior a 3 m ni superior a 5 m. El diseño del acoplamiento rápido de repostaje impedirá su uso para fines distintos al llenado de los tanques de los equipos móviles de hidrógeno. Además, garantizará que el flujo de hidrógeno solo esté abierto cuando esté firmemente conectado a la conexión de llenado del automóvil y excluirá la desconexión involuntaria. La desconexión del acoplamiento rápido de llenado solo será posible después de la despresurización. Si el esfuerzo mecánico supera un cierto límite, desconectará y cerrará el suministro de hidrógeno del dispensador y el flujo de retorno de hidrógeno del tanque del automóvil que se está llenando. La fuerza requerida para desconectar es sustancialmente menor que la resistencia a la tracción de la manguera de conexión de llenado o la fuerza requerida para tirar del acoplamiento rápido de llenado o dañar el dispositivo dispensador. [24] El acoplamiento rápido de llenado permitirá un flujo de gas suficientemente rápido para el tiempo de llenado del vehículo más breve posible y también permitirá la vinculación de datos del vehículo lleno y el dispositivo dispensador para garantizar la comunicación de datos y el ajuste óptimo del modo de llenado.



Foto 9 Acoplamiento repostaje rápido para presión de 700 bar. [25]

PREGUNTAS DE CONTROL

- 1) Qué materiales se utilizan más comúnmente para los tanques de almacenamiento de hidrógeno comprimido? (acero o materiales compuestos)
- 2)Cuál es el propósito del compresor en una estación de servicio de hidrógeno? (comprime el hidrógeno del tanque a alta presión, que luego se alimentará al vehículo)
- 3) Enumere al menos cuatro funciones que debe garantizar la estación de servicio (flujo de gas suficientemente rápido, desconexión y despresurización seguras, comunicación entre el dispositivo dispensador y el vehículo sin confusión de presiones de llenado)

5 FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA ESTACIÓN DE CARGA

PALABRAS CLAVES

seguridad, hidrógeno, detección de gas, inspección, mantenimiento, certificación, cualificación, distancia de seguridad, protección de los ocupantes, riesgos, explosión, fuga.

Para garantizar la seguridad durante el repostaje de los vehículos y durante el funcionamiento real de la estación de servicio, se debe prestar suficiente atención a las comprobaciones operativas y al mantenimiento de la estación de servicio de hidrógeno. Este tema será tratado en esta parte del texto. Se introducirán las diversas tareas implicadas en la comprobación del estado de una estación de servicio de hidrógeno, las normas de seguridad y los sistemas para garantizar un funcionamiento seguro. Finalmente, se presentarán casos de accidentes en estaciones de servicio de hidrógeno, explicando sus causas y consecuencias.

5.1 CONDICIONES PARA EL FUNCIONAMIENTO SEGURO DE UNA ESTACIÓN DE CARGA DE HIDRÓGENO

El cumplimiento de las instrucciones de funcionamiento y las reglas de funcionamiento de la planta es esencial para el funcionamiento seguro de la estación de servicio. En el sitio de la estación de servicio debe estar disponible un diagrama del equipo de la estación de servicio de hidrógeno, las instrucciones de operación y las normas de operación locales (reglamentos contra incendios).

Se colocará un cartel que prohíba el llenado por parte de personas no autorizadas e instrucciones para el llenado en un lugar destacado cerca de cada surtidor de hidrógeno comprimido. Se recomienda que esta prohibición se implemente en al menos dos idiomas mundiales y, en las zonas fronterizas, en los

idiomas de los países vecinos. El motor del automóvil debe apagarse durante el repostaje y debe asegurarse contra movimiento. Solo el automóvil puede estar en el área designada del dispositivo dispensador durante el proceso de repostaje. Está prohibido fumar y encender llamas en el área de la estación de servicio de hidrógeno. Esta prohibición debe colocarse en un lugar visible. Se utilizarán señales y carteles de seguridad, siendo su diseño y ubicación especificados por la legislación pertinente. Estos incluyen advertencias contra los siguientes tipos de peligros:

- áreas donde puede haber una atmósfera explosiva;
- sustancias inflamables;
- gases comprimidos;
- riesgo de shock eléctrico;
- soplado de válvulas de seguridad;
- superficies calientes o frías;
- riesgos mecánicos.

El equipo dispensador debe estar asegurado contra uso indebido durante las horas no operativas de la manera descrita en las reglamentaciones locales.

La documentación de la estación de servicio de hidrógeno en funcionamiento incluirá un manual de instrucciones que detalle los procedimientos adecuados para el uso de todas las partes de la estación de servicio de hidrógeno. El manual de instrucciones debe identificar los riesgos y peligros y especificar las precauciones de seguridad. El manual de instrucciones también debe contener una descripción y explicación de todas las advertencias y marcas utilizadas en la estación de servicio de hidrógeno, en particular las relacionadas con áreas peligrosas. El manual de servicio formará parte de la documentación técnica y contendrá instrucciones para el mantenimiento calificado de los equipos de proceso, detallando los procedimientos correctos para su instalación, tratamiento, controles preventivos y reparaciones. El manual de servicio debe incluir recomendaciones para mantenimiento calificado, intervalos de servicio y registros. Cuando se disponga de métodos para verificar el funcionamiento correcto (por ejemplo, programas de prueba de software), el uso de estos métodos se describirá en detalle. El mantenimiento calificado debe ser realizado por una organización autorizada. Las disposiciones se aplican *mutatis mutandis* a las partes de construcción de las estaciones de servicio de hidrógeno en las que el contratista de la construcción prepara las

instrucciones de mantenimiento. [24] Si hay un fallo en la sección de alta presión de la estación de servicio, es necesario cerrar el suministro de hidrógeno, interrumpiendo el suministro de hidrógeno al vehículo que se está llenando, si está conectado. Posteriormente, se producirá una liberación controlada de hidrógeno de las piezas presurizadas a la atmósfera circundante.

5.2 CONTROL DE FUNCIONAMIENTO DE LA ESTACIÓN DE REPOSTAJE DE HIDRÓGENO

La estación de servicio de hidrógeno se someterá a una inspección periódica al menos una vez cada 6 meses, durante la cual se llevará a cabo lo siguiente:

- una inspección visual del estado de toda la instalación;
- comprobar el funcionamiento de los equipos de seguridad y de las válvulas de control remoto;
- comprobar el estado operativo del equipo de seguridad contra incendios
- comprobar la estanqueidad de las conexiones durante el funcionamiento de la instalación;
- inspección visual de la integridad del aislamiento del cable;
- inspección visual de los dispositivos de puesta a tierra y de unión (integridad de los conductores, puntos de conexión libres de corrosión y aflojamiento mecánico, etc.).

Las estaciones de servicio de hidrógeno se inspeccionarán periódicamente una vez al año:

- inspección del equipo de gas
- comprobar el paso y el ajuste de los dispositivos de alivio de presión;
- pruebas de calidad del hidrógeno
- comprobar la compacidad y el marcado de los sellos contra incendios;
- comprobación del caudalímetro másico de hidrógeno
- inspección operativa de equipos eléctricos en áreas peligrosas.

Las estaciones de servicio de hidrógeno estarán sujetas a inspección periódica una vez cada tres años:

- una inspección operativa del equipo de gas, incluida una verificación de las calificaciones del operador;

- una inspección operativa del equipo eléctrico, incluida una verificación de las calificaciones del operador.

Solo las personas mayores de 18 años, médicamente aptas, demostrablemente capacitadas, familiarizadas con las reglas de operación locales, capacitadas en caso de accidente y calificadas para operar una estación de servicio de hidrógeno lo podrán hacer.

5.3 ACCIDENTES EN ESTACIONES DE CARGA DE HIDRÓGENO

A pesar de todas las medidas de seguridad para garantizar el funcionamiento de las estaciones de servicio de hidrógeno, el 10 de junio de 2019 se produjo una explosión en una estación de servicio de hidrógeno en el municipio noruego de Bærum. En el accidente resultaron heridas dos personas que iban en un vehículo cerca de la estación de servicio de hidrógeno. La explosión fue tan poderosa que disparó los airbags de los vehículos que se encontraban en las inmediaciones. El fabricante de la estación de servicio de hidrógeno fue NEL, es el mayor fabricante de electrolizadores con una historia que se remonta a 1927 y un fabricante líder de estaciones de servicio de hidrógeno.

El propietario de la estación de servicio de hidrógeno afectada es Uno-X Hydrogen, la estación se inauguró en 2016. Era una Nel H2Station con producción de hidrógeno in situ.

La causa principal de la explosión fue un mal apriete de los tornillos del tanque de almacenamiento de hidrógeno, lo que provocó un fallo gradual del sistema de sellado, seguida de una fuga descontrolada de hidrógeno (hora: 17:30) y luego una explosión (hora: 17:37).). La investigación posterior reveló un error en el montaje de la unidad de almacenamiento de alta presión, que consta de tanques de acero y otros componentes de subcontratistas.

La investigación probó los tanques de almacenamiento de alta presión utilizados en este tipo de estación de servicio y encontró que el sistema era completamente seguro en términos de estructura y diseño del material, pero el montaje del sistema resultó inseguro. Un apriete inadecuado de los tornillos puede provocar una fuga de hidrógeno con consecuencias fatales.

Tras este incidente, NEL ha reforzado aún más el control del montaje de los recipientes a presión, con los pasos de montaje individuales controlados como en la industria aeroespacial.

PREGUNTAS DE CONTROL

1) Quién puede operar una estación de servicio de hidrógeno? (Personas mayores de 18 años, médicamente aptas, que hayan demostrado estar capacitadas, familiarizadas con las reglas de operación locales, capacitadas en simulacros de emergencia y calificadas para operar una estación de servicio de hidrógeno)

2) A qué intervalos se inspecciona la estación de servicio de hidrógeno? (6 meses, 1 año, 3 años)

3) Qué tareas se realizan en la inspección de 1 año? Enumere al menos cuatro. (Revise el equipo de gas, verifique los dispositivos de alivio de presión para ver si están libres y ajustados, pruebe la calidad del hidrógeno, verifique la compacidad y el marcado de los sellos contra incendios, verifique el medidor de flujo másico de hidrógeno, la inspección operativa del equipo eléctrico en áreas peligrosas.)

6 TIPOS DE ESTACIONES DE SERVICIO

PALABRAS CLAVES

condiciones técnicas, fuente de hidrógeno, estación de servicio de hidrógeno, almacenamiento, movilidad, estación estacionaria, transporte interno, turismos, autobuses, trenes, aeronaves, hidrógeno gaseoso comprimido, hidrógeno licuado, economía, refrigeración, disponibilidad, público

A continuación, las estaciones de servicio de hidrógeno se dividen en varias categorías. Esta categorización pretende ayudar al lector a comprender las estaciones de servicio de hidrógeno y resumir las principales ventajas y desventajas de cada solución. Al seleccionar el tipo de una estación de servicio de hidrógeno en particular, las posibilidades económicas, técnicas y de seguridad y el uso específico previsto para la estación de servicio son cruciales. Tras considerar todos estos aspectos, se realiza un estudio y se selecciona el diseño de estación de servicio más adecuado. Aquí, las estaciones de servicio de hidrógeno se clasifican según el tipo de hidrógeno utilizado, la ubicación de la estación, el tipo de vehículos para los que está destinada la estación y la fuente del hidrógeno distribuido en la estación de servicio.

6.1 CLASIFICACIÓN POR TIPO DE HIDRÓGENO

- 1) Estaciones de servicio de hidrógeno para hidrógeno gaseoso comprimido
- 2) Estaciones de servicio de hidrógeno para hidrógeno líquido

Las estaciones de servicio de hidrógeno para el llenado de vehículos con pilas de combustible con hidrógeno en forma gaseosa se utilizan para vehículos en los que el hidrógeno se almacena de manera similar como gas en el tanque de almacenamiento del vehículo. En general, existen dos estándares para las estaciones de hidrógeno gaseoso: recarga de hidrógeno a 700 bar (H70) o a 350 bar (H35). Los coches suelen utilizar la tecnología H70. Las estaciones de servicio que utilizan hidrógeno líquido son significativamente menos comunes. El hidrógeno solo se encuentra en forma líquida a temperaturas inferiores a $-252,87\text{ °C}$. Una estación de servicio de hidrógeno líquido requiere un sistema de refrigeración intensivo que consume mucha energía y tecnología. [26]

6.2 DISTRIBUCIÓN POR UBICACIÓN

- 1) Estacionario
- 2) móvil

Las estaciones de hidrógeno son generalmente un sistema estacionario. La función principal de una estación de repostaje de hidrógeno es actuar como un sistema de almacenamiento de hidrógeno con tecnología de almacenamiento y repostaje de hidrógeno. En la mayoría de los casos, el hidrógeno se entrega actualmente a la estación en cilindros o en contenedores de hidrógeno especializados en camiones. Algunas estaciones producen hidrógeno directamente en la estación de hidrógeno por electrólisis (del viento o del sol). Los gasoductos serían otra forma eficiente de entregar hidrógeno a estas estaciones en el futuro. Los sistemas móviles de reabastecimiento de hidrógeno son mucho más pequeños y se utilizan para el reabastecimiento de combustible de emergencia o para algunos casos especiales de uso móvil. La ventaja de las estaciones de servicio móviles es que la estación se puede diseñar como una unidad funcional, que se llevará al sitio desde la planta de llenado de gas industrial y se reemplazará por una estación llena cuando se vacíe, mientras que la estación vacía se retirará para ser completado. Este sistema es adecuado, por ejemplo, para el transporte entre empresas. [26].

El hidrógeno para coches requiere estaciones de servicio de hidrógeno que proporcionen una presión de H70 (700 bar), mientras que los camiones y otros vehículos especiales en la actualidad suelen necesitar estaciones de servicio de hidrógeno H35 (350 bar). El hidrógeno líquido también podría usarse para aplicaciones de camiones en el futuro; la ventaja es la mayor densidad de energía del hidrógeno líquido. Está previsto que el hidrógeno líquido se almacene en un tanque de hidrógeno utilizando tecnología de punta. Los autobuses de pila de combustible son cada vez más populares porque este tipo de vehículos de hidrógeno tienen un alto consumo de hidrógeno que es predecible. Una flota de varios autobuses de hidrógeno puede justificar la inversión en su propia estación de servicio de hidrógeno. El consumo de hidrógeno se puede calcular y la estación se puede reabastecer periódicamente. Los autobuses de pila de combustible de hidrógeno actualmente almacenan hidrógeno a 350 bar. Los vehículos de transporte interno utilizan principalmente tecnología de 350 bar porque dicho sistema de almacenamiento requiere menos inversión y, a diferencia de los automóviles, el reabastecimiento de combustible regular se puede planificar y realizar en una estación construida cerca de la base operativa general (por ejemplo, fuera o dentro de la planta). Otros modos de transporte, como trenes, tranvías o incluso aviones, pueden tener estaciones de reabastecimiento de hidrógeno en un depósito o hangar. [26]

6.3 CLASIFICACIÓN POR ORIGEN DEL HIDRÓGENO

- 1) Estaciones de servicio de hidrógeno sin su propia fuente de hidrógeno
- 2) Estaciones de servicio de hidrógeno con su propia fuente de hidrógeno

La mayoría de las estaciones de servicio se construyen en lugares donde no hay fuentes de hidrógeno adecuadas y el hidrógeno debe transportarse a estas estaciones. Las estaciones de servicio de hidrógeno con su propia fuente de hidrógeno deben construirse en los sitios de producción de hidrógeno (por ejemplo, producción a partir de gas de vertedero, hidrógeno como gas residual de la producción química, etc.). Al construir estaciones de servicio de hidrógeno en estos lugares, se ahorra una cantidad considerable de costos asociados con el transporte del hidrógeno y su llenado en contenedores de transporte. La desventaja es que suele ser menos accesible para el público. Por tanto, este tipo de estación de servicio está especialmente indicada para clientes locales o para repostar vehículos que operan en la producción de este tipo de hidrógeno.

Actualmente, el tipo más común de estación de servicio de hidrógeno es para gas hidrógeno comprimido. Estas estaciones son estacionarias y tienen un diseño similar a las estaciones de servicio de GNC. La presión de llenado está fijada en 700 bar para coches y 350 bar para camiones. En la

mayoría de las estaciones de servicio ya implementadas, el hidrógeno se importa en tanques y luego se bombea a un tanque de almacenamiento en la estación de servicio.

Como punto de interés, aquí hay un ejemplo de una pequeña estación de servicio de hidrógeno que, gracias a la tecnología utilizada y su pequeño tamaño, se adapta muy bien, por ejemplo, a áreas urbanas densas. Honda tiene una larga historia con los coches de hidrógeno, con el primer modelo FCX claridad que apareció en el mercado en 2007. Al mismo tiempo, también ha pasado mucho tiempo desarrollando una mejor estación de servicio de hidrógeno. En 2014 apareció el primer prototipo de estación SHS, una estación que alberga todo lo necesario para producir hidrógeno en el menor espacio posible. En 2015, ideó una tecnología revolucionaria para la producción de hidrógeno mediante electrólisis de alta presión con su propio dispositivo llamado Power Creator. La estación SHS es una forma muy compacta de producir, almacenar y recargar hidrógeno, todo con solo una conexión al agua y la electricidad. Se espera que la energía suministrada provenga principalmente de fuentes renovables, reduciendo así las emisiones de CO2 incluso cuando se produce hidrógeno. Al utilizar el sistema generador de energía, se produce hidrógeno a alta presión y por lo tanto no hay necesidad de utilizar compresores que ocupan espacio y por lo tanto también se reduce el consumo de electricidad de toda la planta, según el sitio web de Honda el consumo de electricidad se ha reducido a 1/4. Al mismo tiempo, no hay necesidad de tanques tan grandes para almacenar más hidrógeno. Todas estas mejoras han hecho posible que la estación ocupe un espacio de 3,7m x 2,25m x 2,57m y se pueda colocar en casi cualquier lugar.

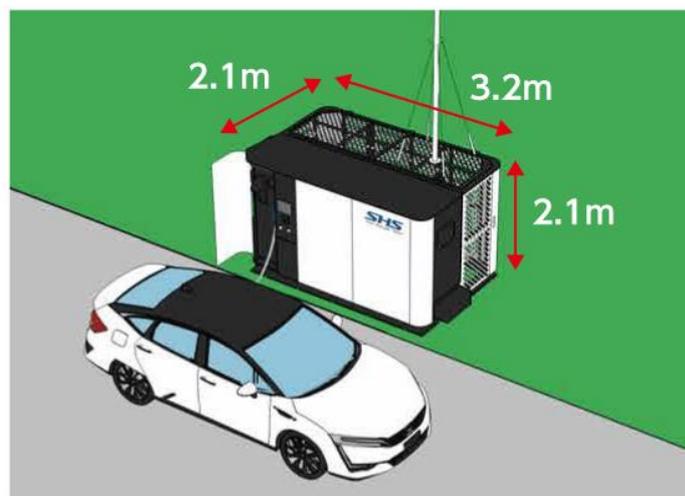


Imagen 4 Honda SHS [27]

PREGUNTAS DE CONTROL

- 1) Cuáles son las ventajas y desventajas de las estaciones de servicio de hidrógeno construidas en el sitio? (Ventajas: elimina el costo de llenar hidrógeno en contenedores de transporte y transportarlo desde el punto de producción hasta el punto de llenado; desventajas: menos accesible al público, más adecuado para la distribución local)
- 2)Cuál es la principal desventaja de las estaciones de servicio de hidrógeno líquido? (complejidad energética y técnica, para el hidrógeno licuado tiene que mantenerse a temperaturas inferiores a -258°C.)
- 3)Cuál es actualmente el tipo de estación de servicio de hidrógeno más común? (estacionario para gas hidrógeno comprimido con una presión de llenado de 700 bar para coches y 350 bar para camiones, sin fuente de hidrógeno propia).

7 PREVISIONES DE DESARROLLO

PALABRAS CLAVES

futuro, desarrollo, eficiencia, uso, investigación, disponibilidad, medio ambiente, Unión Europea, subvenciones, emisiones, pilas de combustible, estaciones de servicio, independencia, hidrógeno, ecología, camiones, automóviles

El futuro de las estaciones de servicio de hidrógeno está íntimamente ligado al desarrollo de la producción de hidrógeno y de la infraestructura para su transporte hasta el punto de recarga. Los próximos pasos necesarios serán cambiar a fuentes de energía verde para la producción de hidrógeno y aumentar la eficiencia de las pilas de combustible. El creciente número de vehículos propulsados por hidrógeno ejercerá presión sobre el creciente número de estaciones de servicio y su mayor disponibilidad.

Para dar algunos ejemplos, el fabricante de automóviles japonés Toyota lanzó su primer automóvil de hidrógeno en forma de Mirai, y a principios de diciembre presentó el GR Yaris experimental con un motor de combustión interna de hidrógeno. Ambos autos demuestran ingeniosamente dos enfoques diferentes para el uso del hidrógeno en el transporte: mientras que el Mirai usa reacciones químicas en pilas de combustible para generar electricidad para la propulsión eléctrica, el GR Yaris quema hidrógeno en un motor convencional modificado. Ambos tienen ventajas ambientales innegables: el uso de hidrógeno en una pila de combustible solo produce agua no mineralizada como desecho, e incluso quemarlo en un motor convencional genera solo cantidades relativamente pequeñas de NO_x dañino. “La pila de combustible de hidrógeno es significativamente más fácil de reciclar, con la desventaja de utilizar metales muy raros como el platino o el iridio”.

Cuando la Comisión Europea presentó su estrategia de hidrógeno en 2020, estableció el objetivo de crear un ecosistema de hidrógeno completo en la UE para ayudar a descarbonizar todos los sectores de interés. Dos años después, está naciendo una legislación concreta a nivel de la UE para ayudar a traducir los objetivos en la práctica. El hidrógeno está cubierto, por ejemplo, por el conocido paquete de legislación climática Fit for 55, que define la producción de hidrógeno renovable e incluye medidas para fomentar su consumo. Estos incluyen la construcción de estaciones de servicio e infraestructura relacionada. En el nuevo plan energético REPowerEU, que está diseñado para ayudar a la UE a romper su dependencia energética con Rusia y garantizar una energía limpia y asequible para la UE-27, la Comisión ha propuesto un aumento en los objetivos de hidrógeno. Europa no solo piensa en el hidrógeno como otra fuente de energía limpia o almacenamiento de energía, sino también como un combustible alternativo para los vehículos. Aunque los proyectos de transporte de hidrógeno están muy verdes, tienen potencial.

Ya hay automóviles, camiones, autobuses, trenes e incluso barcos que funcionan con hidrógeno. Pero están lejos de generalizarse. Y es posible que algunos de ellos ni siquiera vivan para verlo. Los expertos en transporte dicen que el hidrógeno se impondrá en el transporte de carga en lugar del de pasajeros. En el caso de los automóviles, las baterías lideran el camino. Si hablamos de transporte de pasajeros, la energía de las baterías lleva una ventaja de casi una década, lo que también demuestra que la introducción del hidrógeno en el transporte en general, y en los coches en particular, parece ser una solución complementaria más que principal. Sin embargo, en el transporte de mercancías, el hidrógeno tiene una serie de ventajas sobre las baterías. Una de las ventajas es el menor peso de los vehículos, así como el rápido reabastecimiento de combustible en 20 minutos y el rango confiable y más alto, que no debería disminuir significativamente incluso en condiciones de frío. También por esta razón, el hidrógeno se ve como una solución, especialmente para el transporte de mercancías de larga

distancia y donde el vehículo necesita cargarse continuamente. Es probable que las baterías y el hidrógeno se repongan y coexistan. El hidrógeno también tiene sentido desde el punto de vista de ČESMAD BOHEMIA (la asociación de transportistas). "Los prototipos (de vehículos de hidrógeno) probados parecen aptos para el transporte de larga distancia, su autonomía es comparable a los vehículos diésel y mejor que los vehículos eléctricos de batería".

Pero la expansión de la propulsión de hidrógeno sigue siendo la música del futuro, y quedan varios interrogantes por resolver. Uno de ellos, por ejemplo, es dónde instalar los voluminosos tanques de hidrógeno que necesitan los camiones. Si Europa puede lograr producir suficiente hidrógeno puro también sigue siendo un signo de interrogación clave. La producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles ciertamente no conduciría a la neutralidad de carbono. Si hablamos del llamado hidrógeno verde, el principal escollo es la escala de producción necesaria. Para desarrollar el transporte propulsado por hidrógeno, por supuesto, también es necesario construir suficientes estaciones de servicio. La construcción de estaciones de servicio no solo es económica sino también técnicamente exigente. Por ejemplo, la estación de servicio checa, que ha estado en funcionamiento desde junio de 2022 en Ostrava, costó alrededor de 15 millones de coronas checas. La República Checa planea construir alrededor de 80 de ellos a nivel nacional para 2030. Otro obstáculo que dificultará el rápido desarrollo de los vehículos de hidrógeno es la suposición de un precio muy alto de los vehículos de hidrógeno. Si la UE quiere lograr sus objetivos de hacer que el transporte esté libre de emisiones, las estaciones de servicio de hidrógeno deben estar disponibles al menos cada 150 kilómetros a lo largo de la red transeuropea de transporte de automóviles para 2030. Esto crearía una red suficientemente densa de estaciones de servicio de hidrógeno para garantizar adecuada conectividad transfronteriza de la UE y respaldar los 60 000 camiones de hidrógeno que se espera que circulen por las carreteras de la UE en 2030. Los 60 000 camiones de hidrógeno reflejan los resultados de un estudio de 2020 encargado por la Empresa Común de Pilas de Combustible e Hidrógeno (FCH JU), que concluyó que las pilas de combustible "son una solución muy prometedora para la propulsión libre de emisiones para el transporte de mercancías pesadas. El estudio concluyó que los camiones con pilas de combustible de hidrógeno podrían ser competitivos en costes para 2027 si el precio del hidrógeno cae a 6 €/kg. El estudio también destaca el alto rendimiento operativo, flexibilidad y tiempos de repostaje relativamente cortos de los camiones de hidrógeno. Sin embargo, un marco legislativo será esencial para que los camiones de hidrógeno se afiancen en el mercado. "Sin el paquete climático insignia de la UE Fit for 55, solo 3 000 camiones de hidrógeno estarían en las carreteras de Europa para 2030", dijo un funcionario de la Comisión Europea a EURACTIV. Sin embargo, con las propuestas actuales para cumplir las ambiciones climáticas de la UE, este número aumentará a 60 000. El estudio describe un escenario en el que el 17 % de los camiones nuevos vendidos en 2030 funcionarían con

hidrógeno. Sin embargo, se deben cumplir dos criterios clave: el hidrógeno debe venderse a un precio inferior a 6 €/kg y los costos asociados con la tecnología del hidrógeno deben disminuir. Si esto sucediera, significaría que alrededor de 60.000 camiones de hidrógeno circularían por las carreteras europeas para 2030. En 2030, el hidrógeno verde podría costar tan solo 1,8 €/kg. El coste de la tecnología podría tener una trayectoria descendente prometedora mediante la financiación conjunta de la investigación de la UE y la industria.

Para las estaciones de servicio de hidrógeno, el futuro se centra principalmente en construir una red suficientemente densa de estaciones de servicio, resolver el problema del suministro de hidrógeno y reducir los tiempos de repostaje. Una opción que se está considerando es aumentar la presión de llenado, pero esto generará exigencias aún mayores en cuanto a seguridad, calidad de los materiales y diseño tanto de las estaciones de servicio como de los vehículos. A medida que aumente el número de estaciones de servicio, el precio de las estaciones de servicio disminuirá, lo que permitirá aumentar aún más su número.

Para hacer que la construcción y operación de estaciones de servicio de hidrógeno sean más eficientes y rentables, el Departamento de Tecnología Energética de la Universidad de Duisburg-Essen (UDE) y el Centro de Tecnología de Pilas de Combustible (ZBT) están desarrollando actualmente modelos de simulación de componentes de estaciones de servicio para analizar y evaluar diseños. Investigadores de la UDE y ZBT analizan los componentes básicos de una estación de servicio de hidrógeno. En el banco de pruebas ZBT, examinan la bomba de combustible, el tamaño y la presión del tanque, introducen los resultados en simulaciones y calculan las relaciones entre los componentes para que el reabastecimiento de combustible sea eficiente. Crítico para el diseño de una estación de servicio de hidrógeno es su uso previsto. Las estaciones de servicio en pequeños pueblos o negocios y las estaciones ubicadas a lo largo de las carreteras serán completamente diferentes.

Otro problema que deberá abordarse son las pérdidas en la cadena de producción y distribución de hidrógeno. Cuanto más eficiente sea el proceso, menor será el precio final del hidrógeno. El hidrógeno también es significativamente más caro que los combustibles fósiles. El líder del proyecto, el Dr. Jürgen Roes, del Departamento de Ingeniería Energética, dice: "Sin embargo, el hidrógeno de la energía solar y eólica es un importante dispositivo de almacenamiento de energía del futuro porque no contamina el medio ambiente". Por lo tanto, tiene sentido usar el recurso de la manera más eficiente posible y comenzar a pensar en cómo usarlo de la manera más económica posible. [28]

PREGUNTAS DE CONTROL

- 1) En qué modo de transporte se espera que el hidrógeno este usado principalmente? (transporte de carga y autobuses urbanos)
- 2) Cuáles son las ventajas de los vehículos propulsados por hidrógeno en comparación con los vehículos eléctricos? (menor peso, mayor autonomía, autonomía independiente de la temperatura exterior, repostaje más rápido)
- 3) Qué porcentaje de camiones nuevos vendidos en la UE en 2030 debería funcionar con hidrógeno? (17 %)

8 RESUMEN

El propósito de este texto es familiarizar al lector con los aspectos básicos de las estaciones de servicio de hidrógeno, su historia y funcionamiento. El lector debe estar familiarizado con las cuestiones legislativas básicas y los reglamentos técnicos que afectan tanto al diseño y construcción de las estaciones de servicio como a las reglas para su operación y mantenimiento. El texto concluye con una evaluación del desarrollo futuro de las estaciones de servicio de hidrógeno, así como del uso general del hidrógeno como fuente de energía en el transporte.

El tema de la tecnología del hidrógeno es muy amplio y está experimentando un desarrollo dinámico, por lo que no es posible cubrir toda la información relacionada con este tema en un solo texto educativo. Para una perfecta orientación en el tema del hidrógeno y su uso es necesario familiarizarse con otros módulos y seguir los desarrollos en el campo de la tecnología del hidrógeno. En general, las tecnologías del hidrógeno pueden considerarse muy prometedoras, aunque su despliegue generalizado irá acompañado de un número considerable de problemas y será costoso.

9 FUENTES

- [1]: <https://finmag.penize.cz/veda-a-technika/430830-je-vodik-palivem-budoucnosti-nastupujici-trend-ocima-expertu>
- (2) <https://www.wired.com/2007/11/checking-in-on/>
- (3) <https://www.statista.com/statistics/1026719/number-of-hydrogen-fuel-stations-by-country/>
- [4] CHIC » Fuel cell electric bus project CHIC launches final project report as tool for cities and bus operators [online]. [vid. 2017-01-19]. Dostupné z: <http://chic-project.eu/newsevents/news/fuel-cell-electric-bus-project-chic-launches-final-project-report-as-tool-for-cities-and-bus-operators>
- [5] H2-Stationen. H2 Mobility [online]. [vid. 2017-02-10]. Dostupné z: <http://h2-mobility.de/h2-stationen/>
- [6] <https://www.iberdrola.com/sustainability/hydrogen-stations>
- [7] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/hydrogen-refuelling-station>
- [8] TPG 304 03 www.cgoa.cz
- [9] <https://hydro-tech.hennlich.cz/produkty/kompresory-a-plnici-stanice-vodiku-14468.html>
- [10] <https://www.sultrade.cz/standardni-vysokotlake-kompresory/>
- [11] <https://www.products.pcc.eu/cs/blog/vyznam-technicky-plynu-v-prumyslu/>
- [12] <https://www.technicka-zarizeni.cz/sbornik-prednasek-kh-2021/vystavba-a-provoz-vodikovych-plnicich-stanic-a-nektere-souvislosti/>
- [13] <https://www.technickenormy.cz/csn-en-17127-venkovni-vydejni-vodikove-cerpaci-stanice-na-plynnny-vodik-s-plnicimi-protokoly/>
- [14] <https://www.iso.org/standard/71940.html>
- [15] <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/90016399-7325-4ffa-a34f-058be6306350/en-17124-2022>
- [16] https://www.sae.org/standards/content/j2601_202005/

[17] Estudio comparativo de las Normas Mundiales, Europeas e Italianas sobre Estaciones de Repostaje de Hidrógeno. Matteo Genovese, Viviana Cigolotti, Elio Jannelli and Petronilla Fragiaco E3S Web Conf., 334 (2022) 09003

DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202233409003>

[18] <https://www.tuvsud.com/cs-cz/odvetvi/energetika/konvencni-energie/vodikova-energie/skladovani-preprava-a-distribuce-vodiku>

[19] Vodíková strategie České republiky, *Ministerstvo průmyslu a obchodu*

[20] <https://www.sultrade.cz/standardni-vysokotlaka-kompresory/>

[21] <https://hydro-tech.hennlich.cz/produkty/kompresory-a-plnici-stanice-vodiku-14468.html>

[22] <https://www.haskel.com/en-us/blog/how-does-a-hydrogen-refuelling-station-work>

[23] <https://hdsam.es.anl.gov/index.php?content=hrsam>

[24] TPG 304 03

[25] <https://www.weh.us/weh-fueling-nozzle-tk17-h-70-mpa-for-fast-filling-cars-singlehanded-operation-selfservice.html>

[26] <https://hyfindr.com/hydrogen-refueling-station/>

[27] <https://global.honda/innovation/FuelCell/smart-hydrogen-station-engineer-talk.html>

[28] <https://fuelcellworks.com/news/filling-station-of-the-future-using-hydrogen-more-efficiently/>

Imagen 1 Red de estaciones de servicio en Alemania en 2016, 2018, 2023 [5].....	6
Imagen 2 Estado actual y perspectivas para la expansión de los autobuses propulsados por hidrógeno. [4]	7
Imagen 3 Estado de desarrollo de las normas CEN y CENELEC para HFS. [17]	10
Imagen 4 Paquete a granel [20]	25
Imagen 5 Tanque de almacenamiento tubular [20].....	26
Imagen 6 Compresor para estación de servicio [21].....	27
Imagen 7 Diagrama del compresor de alta presión [20]	Chyba! Záložka není definována.
Imagen 8 Equipos de dosificación [20]	28
Imagen 9 Acoplamiento repostaje rápido para presión de 700 bar. [25]	29
Imagen 10 Honda SHS [27]	37

11 LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Requisitos de calidad del hidrógeno para pilas de combustible de hidrógeno [8]	17
Tabla 2 Límites de rendimiento y seguridad para el repostaje de hidrógeno según SAE J260	18