



Programa Europeo de Formación de Formadores para Equipos de
Respuesta

Clase 6

Criterios para daños personales y materiales

NIVEL I

La información aportada en este tema está dirigida a los niveles **Bombero** y superiores.

Este tema también está disponible en los niveles II, III y IV

Este tema forma parte del conjunto de materiales formativos para los niveles I – IV: Bombero, Jefe de equipo (Oficial), Subjefe de intervención / Jefe de intervención y Técnico Asesor / Bombero Especialista. Es importante consultar el tema de introducción en el que se detalla la información relativa a las competencias y expectativas de aprendizaje

Nota: estos materiales son propiedad del Consorcio HyResponder y deben ser reconocidos como tal; se han utilizado como base los resultados de HyResponse



Descargo de responsabilidad

A pesar del cuidado que se ha puesto en elaborar este documento, se aplica el siguiente descargo de responsabilidad: la información en este documento se proporciona tal como es y no se garantiza que la información sea adecuada para un fin concreto. El usuario de la misma empleará la información por su propia cuenta y riesgo.

Este documento refleja únicamente las opiniones de los autores. La FCH JU y la Unión Europea no se responsabilizan del uso que pueda hacerse de la información aquí incluida.

Agradecimientos

El proyecto ha recibido financiación de la FCH JU (now Clean Hydrogen Partnership) en virtud del acuerdo de subvención nº 875089. La JU recibe apoyo del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 y de Reino Unido, Francia y Austria, Bélgica, España, Alemania, Italia, Chequia, Suiza y Noruega.



Resumen

Este tema proporciona al personal de primera intervención información valiosa sobre el impacto de las fugas, los incendios y las explosiones de hidrógeno en el entorno y la salud de las personas. También considera los daños en las estructuras y los equipos causados por los incendios de hidrógeno y los eventos de sobrepresión.

Palabras clave

Accidente con hidrógeno, radiación térmica, sobrepresión, criterios de daños, Equipo de Protección Individual

Índice

Resumen	3
Palabras clave	3
Índice	4
1. Público destinatario	5
1.1 Descripción de funciones: Bombero	5
1.2 Nivel de competencia: Bombero	5
1.3 Conocimientos previos: Bombero	5
2. Introducción y objetivos	5
3. Principales definiciones	7
4. Peligros para la salud de las fugas de hidrógeno	8
4.1 Hidrógeno gaseoso	8
4.2 Hidrógeno licuado	9
5. Efectos nocivos de la combustión de hidrógeno en las personas	10
5.1 Efecto de la temperatura del aire	10
5.2 Efecto del contacto directo con llamas de hidrógeno	10
5.3 Efecto del flujo de calor radiante de los incendios de hidrógeno	10
5.4 Efecto de la sobrepresión en las personas	10
6. Etiquetado de los sistemas de hidrógeno	11
7. Equipo de Protección Individual	13
8. Impacto en el medio ambiente	15
Agradecimientos	15
Referencias	15

1. Público destinatario

La información aportada en esta clase está dirigida al NIVEL 1: Bombero. También hay clases disponibles en los niveles II, III y IV: jefe de equipo (Oficial), subjefe de intervención / jefe de intervención y técnico asesor / Bombero especialista.

A continuación se describen las funciones, el nivel de competencia y las expectativas de aprendizaje asumidas por el Bombero.

1.1 Descripción de funciones: Bombero

El bombero es responsable y se espera que sea capaz de realizar operaciones de forma segura con Equipo de Protección Individual (EPI), incluido el Equipo de Respiración Autónoma (ERA), y utilizando el equipamiento necesario, como por ejemplo vehículos, escaleras, mangueras, extintores, equipos de comunicación y rescate, en todo tipo de condiciones climáticas y situaciones de emergencia en las que se pueda prever de un modo razonable que requerirán una respuesta.

1.2 Nivel de competencia: Bombero

Entrenado en el uso seguro y correcto de EPI, ERA y demás equipos que pueda utilizar; los primeros intervinientes deben poseer los conocimientos y práctica necesaria. Es necesario que los comportamientos que los mantendrán seguros a ellos y a otros compañeros se describan en los Procedimientos Operativos Estándar (SOP). Se requiere la capacidad práctica para evaluar de forma dinámica el riesgo para la propia seguridad y la de los demás.

1.3 Conocimientos previos: Bombero

EQF 2 Conocimientos básicos de un campo de trabajo o estudio. Habilidades cognitivas y prácticas básicas necesarias para utilizar información relevante a fin de realizar tareas y resolver problemas rutinarios utilizando reglas y herramientas sencillas. Trabajar o estudiar bajo supervisión con cierta autonomía.

2. Introducción y objetivos

La principal preocupación de seguridad en el uso hidrógeno es la protección de la vida y la propiedad. Por lo tanto, es importante establecer los criterios para los operadores, usuarios, público general, así como para los Primeros Intervinientes, que pueden verse afectados por las consecuencias de un incidente o accidente en un sistema o infraestructura FCV. Los criterios de aceptación para los clientes y el personal que participe en la operación, la inspección y el mantenimiento de las instalaciones e infraestructuras FCV serán similares, mientras que para el público en general que se encuentre en las proximidades de un incidente o accidente, el enfoque debe ser más conservador. Según la Norma Británica BS 7974 (2004), los Bomberos se consideran una categoría distinta de las personas afectadas. No están presentes en las instalaciones FCV cuando se produce el incidente/accidente y suelen llegar al lugar de los hechos cuando las condiciones son más peligrosas y deben cumplir con sus obligaciones profesionales. Son vulnerables al posible derrumbamiento de edificios/estructuras y a las consecuencias de la onda expansiva. Además, al estar dotados de Equipos de Protección Individual (EPI) especiales, pueden soportar niveles más altos de radiación térmica y temperaturas, así como atmósferas asfixiantes y tóxicas. La presencia de una persona dentro de la infraestructura FCV en el momento de un incidente/accidente es muy importante. En realidad, los efectos del incidente/accidente de hidrógeno pueden ser inmediatos y afectarán a las personas de forma diferente, dependiendo de su proximidad a la fuente de daño. Las personas situadas en el interior tienen más probabilidades de verse afectadas por la onda expansiva que las situadas en el exterior.

Está fuera del alcance del proyecto HyResponder proporcionar criterios de daño armonizados o valores umbral para caracterizar los posibles impactos de los fenómenos peligrosos. Las partes interesadas deben utilizar las normas en vigor en su propio país.

Al final de este tema, los intervinientes podrán:

- Describir los principales riesgos para la salud asociados a los **escapes no inflamados**, la explosión física (rotura de recipientes comprimidos), los incendios, las deflagraciones y las detonaciones de hidrógeno gaseoso y licuado;
- Definir los efectos nocivos relacionados con los escapes de hidrógeno **no encendido** en espacios cerrados:
 - nivel de ruido;
 - efecto de la temperatura del hidrógeno;
 - efecto de la sobrepresión en caso de fenómeno de pico de presión.
- Definir los efectos nocivos de la combustión de hidrógeno en los seres humanos:
 - efecto de la temperatura de la atmósfera de combustión;

Clase 6: Criterios para daños personales y materiales

- exposición al flujo de calor radiante;
- efecto de sobrepresión.
- Considerar los principios y la aplicación del marco de los criterios de daño para las personas y el medio ambiente, además de los criterios de daño para las estructuras y los equipos:
 - temperatura del aire;
 - dosis térmica;
 - flujo de calor;
 - sobrepresión, etc.
- Especificar los niveles de dosis térmica peligrosa y letal, 50% (LD50);
- Distinguir entre los efectos nocivos directos e indirectos de la sobrepresión en las personas;
- Relacionar los daños causados a las estructuras, los equipos y el medio ambiente por los incendios de hidrógeno y las ondas expansivas, con los niveles de flujo de calor radiante y de sobrepresión;
- Reconocer los tipos de etiquetado para almacenamiento de hidrógeno gaseoso y licuado en aplicaciones de hidrógeno y pilas de combustible;
- Enumerar los elementos del equipo de protección personal que deben utilizar no solo los Primeros Intervinientes, sino también el personal que trabaja en una instalación FCV;
- Describir el impacto del hidrógeno en el medio ambiente.

3. Principales definiciones

Es importante que el personal de **respuesta/emergencias** sea capaz de evaluar el impacto de los incidentes/accidentes de hidrógeno sobre la integridad física y el control de pérdidas. Existen varios métodos para definir y evaluar las consecuencias de un incidente/accidente en función de su gravedad, exposición, duración y del objetivo considerado (es decir, público, ocupantes, estructuras, edificios, equipos, etc.). Hay algunas definiciones útiles que se utilizan en los temas actuales y futuros.

Criterios de aceptación son los términos de referencia con los que se evalúa el diseño seguro de una instalación/infraestructura FCV [1].

Incapacitación es una condición en la que los seres humanos no actúan de modo adecuado y no pueden escapar de condiciones insostenibles [2].

Ocupantes son personas presentes dentro de los límites de una instalación/infraestructura FCV incluyendo personal que participa en el funcionamiento y mantenimiento, así como los clientes y visitantes [1].

Clase 6: Criterios para daños personales y materiales

Lugar de seguridad es un sitio predeterminado dentro o fuera de instalación/infraestructura FCV, en el que las personas no se encuentran en peligro inminente por el efecto de un escape de hidrógeno, incendio o explosión [1].

Público son las personas presentes fuera de los límites de una instalación/infraestructura FCV.

Área sensible es el establecimiento, infraestructura o equipo que contienen sustancias peligrosas que pueden convertirse en una fuente de daños cuando se ven afectados por un incidente/accidente con hidrógeno [1].

Capacidad de supervivencia es la máxima exposición que puede recibirse con una probabilidad estadística de muerte/daño y sin que se vea afectada la capacidad de un individuo para escapar [1].

Tenibilidad es la máxima exposición a los peligros de un incidente/accidente de hidrógeno que puede tolerarse sin contravenir los objetivos de seguridad [1].

Umbral es la intensidad o dosis máxima para un determinado peligro que corresponde a una respuesta específica de carácter fisiológico (para personas) o estructural (para estructuras y equipos) [1].

4. Peligros para la salud de los escapes de hidrógeno

El hidrógeno en forma de gas es más ligero que el aire y por eso se eleva rápidamente y puede diluirse fácilmente en el aire en caso de una fuga involuntaria en un espacio abierto. Si se produce un escape accidental en un espacio cerrado/de interior, puede causar daño a las personas por asfixia. Además, las fugas de hidrógeno en espacios cerrados suponen un peligro de explosión. Las mezclas de hidrógeno-aire son inflamables debido al amplio rango de inflamabilidad, de 4 a 75 vol.% del hidrógeno. Cuando se libera en la atmósfera y en presencia de una fuente de ignición, el hidrógeno entra en combustión, produciendo agua y calor. La probabilidad de que el hidrógeno se inflame tras su liberación es muy alta, ya que tiene una energía de ignición muy baja: incluso una descarga de electricidad estática basta para la ignición del hidrógeno. Los intervinientes no necesitan llevar ropa de protección para evitar la descarga de electricidad estática, porque este es un mecanismo que en raras ocasiones inflama el hidrógeno. En caso de incendio, la llama del hidrógeno es casi invisible a la luz del día y su temperatura puede alcanzar los 2000 °C. Si bien la llama del hidrógeno irradia poco comparada con la de los hidrocarburos, existe mucho riesgo para los intervinientes que se aproximan a la llama.

4.1 Hidrógeno gaseoso

El hidrógeno es un gas inodoro, incoloro e insípido, indetectable por los sentidos humanos. No es posible utilizar sustancias odorantes (por ejemplo, mercaptanos) en los depósitos de

Clase 6: Criterios para daños personales y materiales

almacenamiento, ya que pueden contaminar las pilas de combustible. El hidrógeno no es una sustancia cancerígena. No se espera que el hidrógeno cause mutagenicidad¹, teratogenicidad², embriotoxicidad³ o toxicidad reproductiva. No hay pruebas de efectos adversos en la piel o los ojos expuestos a atmósferas de hidrógeno. Sin embargo, los chorros de hidrógeno a alta presión pueden cortar la piel sin protección [3]. El hidrógeno no se puede ingerir. No obstante, el hidrógeno inhalado puede provocar la formación de una mezcla inflamable en los pulmones humanos.

Al igual que ocurre con otros gases, un aumento en la concentración de hidrógeno provoca una reducción de los niveles de oxígeno en el aire, lo que a su vez puede provocar *asfixia*. El hidrógeno está clasificado como un asfixiante simple; no tiene un Valor Límite Umbral (TLV) [4]. Las altas concentraciones de hidrógeno en el aire, en espacios total/parcialmente cerrados, conducen a la formación de *atmósferas deficientes en oxígeno*. Las personas expuestas o que respiran dichas atmósferas pueden experimentar los siguientes síntomas: cefaleas, mareos, somnolencia, inconsciencia, náuseas, vómitos, depresión de todos los sentidos, etc. La persona afectada puede tener la piel de color azulada y, en algunas circunstancias, puede producirse la muerte. Si inhala hidrógeno y se observan los síntomas mencionados, la persona debe ser trasladada a un lugar con aire fresco; se debe administrar oxígeno si la respiración es dificultosa, o respiración artificial si la persona no respira.

4.2 Hidrógeno licuado

El hidrógeno licuado se almacena/utiliza a temperaturas extremadamente bajas debido a su bajo punto de ebullición (-253 °C). A continuación se describen los peligros para la salud asociados a un escape de hidrógeno licuado.

- El contacto con el hidrógeno líquido o sus salpicaduras en la piel o en los ojos puede provocar graves quemaduras por frío, por congelación o por hipotermia.
- Las quemaduras criogénicas también pueden producirse por el contacto de partes del cuerpo humano no protegidas con fluidos fríos o superficies frías.
- La inhalación de vapores fríos de hidrógeno puede causar molestias respiratorias y puede provocar asfixia.
- El contacto físico directo con el HL₂, los vapores fríos o el equipo frío puede causar graves daños en los tejidos. El contacto momentáneo con una pequeña cantidad del líquido quizá no suponga un grave peligro de quemadura porque puede formarse una

¹ La inducción de cambios transmisibles permanentes en la cantidad o la estructura del material genético de las células o los organismos.

² Defectos de nacimiento por un efecto tóxico sobre el embrión o el feto.

³ Efectos tóxicos sobre el embrión de una sustancia que atraviesa la barrera placentaria.

Clase 6: Criterios para daños personales y materiales

película protectora de hidrógeno gaseoso en evaporación. El peligro de congelación se produce cuando se derraman grandes cantidades y la exposición es amplia⁴.

- El personal no debe tocar las partes metálicas frías y debe llevar ropa protectora. También deben proteger la zona afectada con una funda o forro.
- Es probable que se produzcan disfunciones cardíacas cuando la temperatura corporal interna desciende a 27°C o menos, y puede producirse la muerte cuando la temperatura corporal interna desciende a menos de 15°C [5].
- Además, la asfixia es una posibilidad si el hidrógeno licuado se libera y vaporiza en el interior.

5. Efectos nocivos de la combustión de hidrógeno en las personas

La inhalación de productos de combustión originados por combustibles convencionales es una de las principales causas de lesión y una de las principales consecuencias de un incendio. Se considera menos grave en el caso del hidrógeno porque el único producto de combustión es vapor de agua (no tóxico ni venenoso). Sin embargo, los incendios secundarios pueden producir humo u otros productos de combustión que suponen un peligro para la salud.

5.1 Efecto de la temperatura del aire

Durante un incendio de hidrógeno, el aire circundante se calienta significativamente y esto puede afectar a las personas situadas en las proximidades. El contacto directo con el hidrógeno en combustión o con los gases calientes posteriores a la combustión del hidrógeno provocará graves *quemaduras térmicas*. El aumento de la temperatura del aire puede causar dificultad para respirar o quemaduras en las vías respiratorias. Las altas temperaturas también pueden provocar un colapso.

5.2 Efecto del contacto directo con llamas de hidrógeno

El efecto de las llamas de hidrógeno en las personas es similar al de las llamas de otros combustibles comunes. El contacto directo con el hidrógeno en combustión o con los gases calientes posteriores a la llama resultantes de la combustión del hidrógeno provoca quemaduras graves [11].

5.3 Efecto del flujo de calor radiante de los incendios de hidrógeno

La llama del hidrógeno irradia mucho menos calor que la de los hidrocarburos y es prácticamente invisible a plena luz del día. La longitud de onda máxima de su emisión es de

⁴Efecto del nitrógeno líquido:

<https://www.youtube.com/watch?v=F9dhZJQk80A&feature=youtu.be&t=291>

Clase 6: Criterios para daños personales y materiales

unos 311 nm, que está cerca de la parte ultravioleta (UV) del espectro de radiación [11]. Esto significa que las personas situadas cerca de una llama de hidrógeno podrían no percibir su proximidad hasta que estén en contacto con ella [11]. Sin un equipo de detección adecuado, el primer indicio de una pequeña llama será probablemente un ruido "sibilante" del gas que se escapa a través de un orificio y quizás la aparición de "ondas de calor" [11].

Hay que tener en cuenta que una llama de hidrógeno irradia un mínimo de radiación infrarroja y prácticamente ninguna radiación visible.

Para las personas que no están en contacto directo con las llamas de hidrógeno, puede que queden expuestas a altos flujos de calor por radiación durante el tiempo suficiente para provocar quemaduras de primer, segundo o tercer grado.

5.4 Efecto de la sobrepresión en las personas

Uno de los más importantes efectos indirectos de la sobrepresión es el de los fragmentos voladores (también conocidos como misiles o proyectiles). El nivel de lesiones dependerá del tamaño y el peso de los fragmentos, la velocidad de impacto y la ubicación del impacto en el cuerpo humano [12]. La velocidad de aceleración de los misiles es el principal factor causante de las lesiones. La probabilidad de que se produzca una herida por penetración aumenta con el incremento de la velocidad, sobre todo en los misiles de pequeño tamaño, como los fragmentos de cristal.

6. Etiquetado de los sistemas de hidrógeno

Los pictogramas para el transporte comercial de hidrógeno se muestran en la Figura 1, en la que "1049" denota hidrógeno gaseoso, mientras "1966" denota hidrógeno líquido [13].

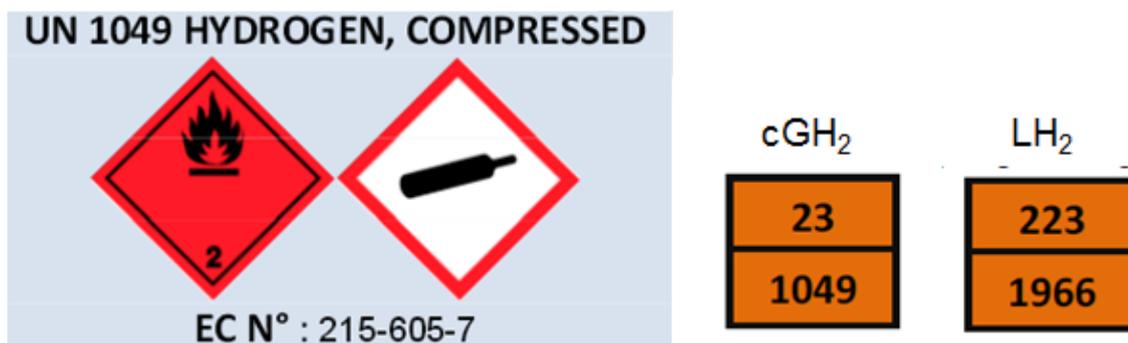


Figura 1. Ejemplos de pictogramas utilizados para el transporte de hidrógeno.

⁵ Hydrogen, compressed: hidrógeno, comprimido. Grey: gris. Red: rojo. Green: verde. White: blanco. Blue: azul. Orange: naranja. Diesel: diésel. Gasoline: gasolina. Cryogen LNG: GNL criogenizado. Hydrogen: hidrógeno. High voltage: alta tensión.

Clase 6: Criterios para daños personales y materiales

Para los vehículos de FC, el reglamento de la UE, nº 406/2010 recomienda utilizar rombos verdes dentro de marcos blancos con las palabras "GAS H2" o "H2 LÍQUIDO" escritas en letras blancas [14].

Los principales pasos en el desarrollo de los símbolos para la identificación formal del peligro se presentan en las Figuras 2 y 3. Estos colores también se utilizan en la información de rescate y para colorear los componentes del vehículo (Hojas de rescate).

GREY	DIESEL
RED	GASOLINE
GREEN	GAS
WHITE	CRYOGEN LNG
BLUE	HYDROGEN
ORANGE	HIGH VOLTAGE

SYMBOLS

- 1) FIRST ENERGY SOURCE: CNG LNG LPG
- 2) SECOND ENERGY SOURCE:
- 3) DENSITY COMPARED TO AIR:
- 4) STORED AGREGATE STATE:



Figura 2. Colores y símbolos sugeridos por el CTIF para el desarrollo de señales estandarizadas

Clase 6: Criterios para daños personales y materiales

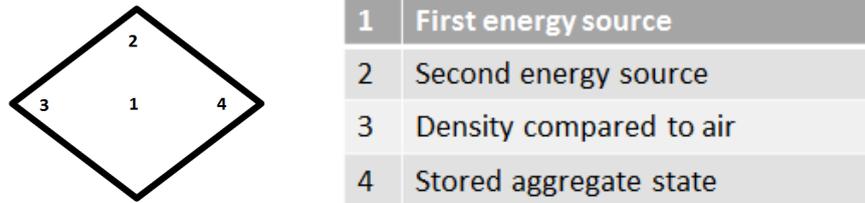


Figura 3. Forma de rombo sugerida por el CTIF para identificar los peligros de los vehículos [15]

La Figura 4 muestra la versión más reciente de una etiqueta para un vehículo FC que indica las dos principales fuentes de energía: hidrógeno (en el centro) y electricidad en la esquina superior. El símbolo de la esquina izquierda indica que la primera fuente de energía (el hidrógeno) es más ligera que el aire; el símbolo de la esquina derecha señala que se trata de un gas comprimido. La norma ISO 17840-4 proporciona a los intervinientes información valiosa sobre los peligros, que es visible a gran distancia.



Figura 4. Símbolo desarrollado por el CTIF para un vehículo FC propulsado por hidrógeno gaseoso comprimido [15]

⁶ Symbols: símbolos. First energy source: primera fuente de energía. Second energy source: segunda fuente de energía. Density compared to air: densidad en comparación con el aire. Stored aggregate state: estado agregado en almacenaje.

Clase 6: Criterios para daños personales y materiales

Los ejemplos de símbolos sugeridos por el CTIF para otros tipos de vehículos, tradicionales e híbridos, se muestran en la [Figura 5](#).

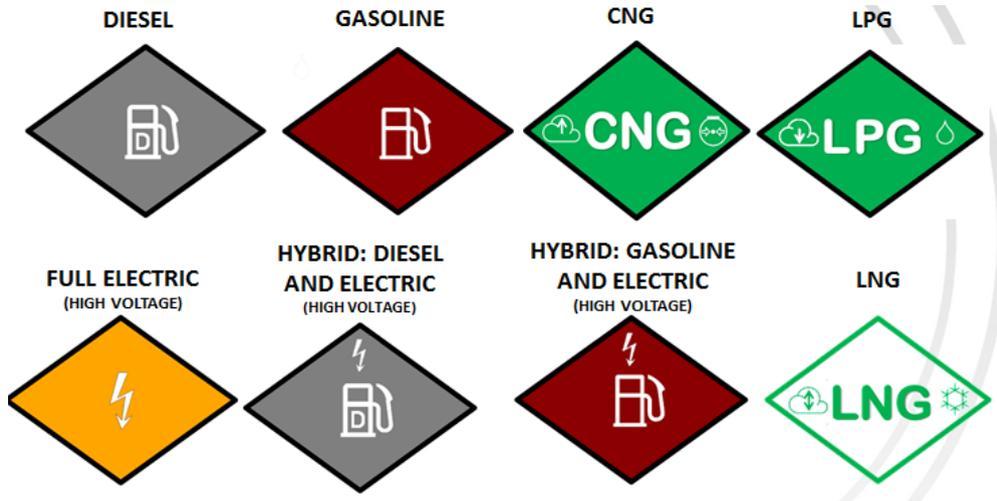


Figura 5. Símbolos desarrollados por el CTIF para diferentes tipos de combustibles/energías para vehículos [15]

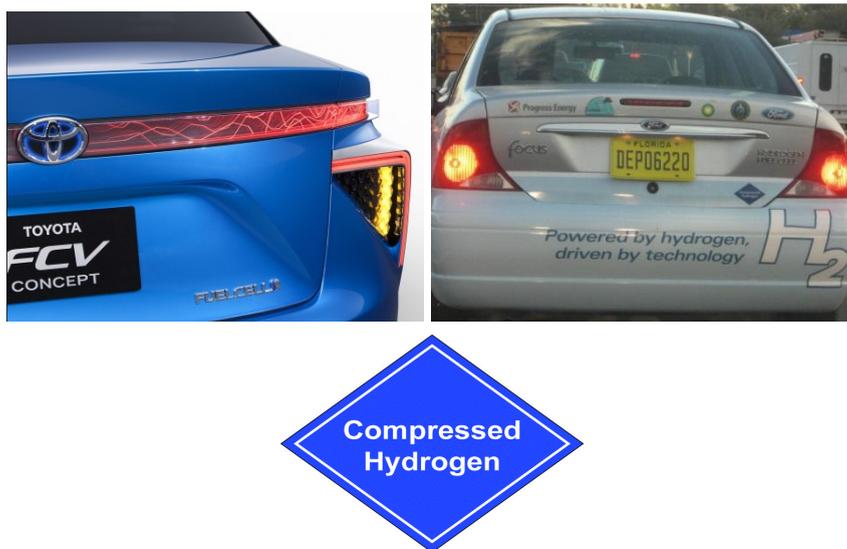


Figura 6. Métodos de identificación utilizados en EE.UU. [13]

⁷ Diesel: diésel. Gasoline: gasolina. LPG: GLP. Full electric (high voltage): Completamente eléctrico (alta tensión). Hybrid: diesel and electric (high voltage): Híbrido: diésel y eléctrico (alta tensión). Hybrid: gasoline and electric (high voltage): Híbrido: gasolina y eléctrico (alta tensión). LNG: GNL.

7. Equipo de Protección Individual

Cabe mencionar dos normas principales de la UE en relación con los requisitos de rendimiento de los EPI para lucha contra incendios. La norma (NF) EN 469:2006-02 [16] detalla los requisitos sobre ropa de protección de los bomberos, y la norma (NF) EN 136:1998 [17] los relativos a los dispositivos de protección respiratoria.

El personal que realiza operaciones en una instalación o sistema de hidrógeno puede reducir las posibles consecuencias de un peligro utilizando el equipo de protección adecuado. Entre las condiciones para las que el personal debe protegerse destacan la exposición a temperaturas criogénicas o temperaturas de llama, a la radiación térmica de una llama de hidrógeno y a atmósferas deficientes en oxígeno de hidrógeno o gases de purga inertes como el nitrógeno y el helio. La naturaleza del trabajo determina el tipo de EPI que se utiliza. En la norma ISO 15196 [11] se ofrecen algunas directrices generales para los EPI [11]. Estas directrices no incluyen los EPI que deben tenerse en cuenta cuando se participa en otras actividades, como trabajar en circuitos eléctricos o realizar una operación de limpieza o descontaminación [11]. Las partes necesarias u obligatorias del EPI se seleccionan en función de las condiciones del lugar.

- Se debe usar protección ocular si es apropiado (por ejemplo, protector facial completo cuando se conectan y desconectan líneas o componentes o gafas durante la manipulación de HL_2).
- Es necesario emplear guantes debidamente aislados cuando se manipule cualquier elemento que entre en contacto con el HL_2 o el HG_2 frío. Los guantes no deben ir justos, deben poder quitarse fácilmente y no tener puños grandes.
- Deben usarse pantalones largos, preferiblemente sin goma abajo, con las perneras por fuera de las botas o el calzado de trabajo.
- Se debe usar calzado cerrado (no calzado abierto o poroso).
- Se debe llevar ropa de algodón convencional, algodón ignífugo o material antiestático. Evite llevar ropa de nailon u otros materiales sintéticos, seda o lana, ya que estos materiales producen cargas de electricidad estática que pueden encender las mezclas inflamables. El material sintético (ropa) se puede derretir y pegar a la carne, causando mayores daños por quemaduras. Hay que quitarse toda la ropa rociada o salpicada con hidrógeno hasta que esté completamente libre de hidrógeno.
- Cabe evitar los guantes, las prendas ajustadas o la ropa que retenga o atrape (bolsas) el líquido contra el cuerpo.

Clase 6: Criterios para daños personales y materiales

- Deberá utilizarse protección auditiva si la instalación o el sistema de hidrógeno incluye equipos que generen ruidos fuertes.
- Es preciso llevar casco si la instalación o el sistema de hidrógeno entraña algún peligro de caída de objetos.
- Deberá llevarse un equipo de respiración autónomo cuando se trabaje en un espacio cerrado en el que pueda haber una atmósfera con falta de oxígeno.
- Conviene utilizar equipos portátiles de detección de hidrógeno e incendios para advertir de fugas de hidrógeno e incendios.
- Los bomberos han de utilizar cámaras térmicas y mangueras automáticas o lanzas monitor.
- El personal debe conectarse a tierra antes de tocar o utilizar una herramienta en un sistema de hidrógeno si se sospecha que hay hidrógeno en la zona.

8. Impacto en el medio ambiente

El hidrógeno no contaminará las aguas subterráneas (es un gas en condiciones atmosféricas normales), y un escape de hidrógeno no provocará contaminación atmosférica. El hidrógeno se encuentra en la atmósfera terrestre en una concentración de 0,5 ppm (partes por millón) desde el nivel del suelo hasta los 60 km de altitud [1]. Las fuentes de emisión de hidrógeno descritas por Schultz [18] incluyen:

- Combustión incompleta de combustibles fósiles y biomasa (40%),
- Oxidación petroquímica atmosférica de metano e hidrocarburos no metánicos (50%),
- Emisiones de volcanes, océanos y vegetales fijadores de nitrógeno (10%).

El 75% de las emisiones de hidrógeno se eliminan de la atmósfera por deposición seca en los suelos, mientras que el 25% restante se elimina por oxidación en la atmósfera [18].

El hidrógeno, cuando se utiliza como combustible, no crea "humos". Un vehículo FC tiene cero emisiones en el tubo de escape [19].

Agradecimientos

Reconocemos la aportación del proyecto HyResponse, ya que los materiales aquí presentados se basan en las clases originales de HyResponse.

Referencias

1. Saffers, JB (2010). Principles of hydrogen safety engineering. Tesis doctoral. Universidad de Ulster.
2. NFPA (2009). Life safety code.

Clase 6: Criterios para daños personales y materiales

3. Hammer, W (1989). Occupational Safety Management and Engineering, 4ª edición, Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, 1989, ISBN 0-13-629379-4, capítulo 19.
4. NASA (1997). Safety standard for hydrogen and hydrogen systems. Directrices para el diseño de sistemas de hidrógeno, selección de materiales, operaciones, almacenamiento y transporte. Informe técnico NSS 1740.16, Oficina de Seguridad y Garantía de la Misión, Washington.
5. Molkov, V (2012). Fundamentals of hydrogen safety engineering, Part I and Part II. Disponible en: www.bookboon.com, libro electrónico de descarga gratuita
6. Prasher, D (2000). Noise Pollution Health Effects Reduction (NOPHER): Un plan de trabajo de acción concertada de la Comisión Europea. Noise Health, Edición 2, pp. 79-84. Disponible en: <http://www.noiseandhealth.org/text.asp?2000/2/8/79/31748> [consultado el 09/11/2020].
7. Hydrogen Detection in Oil Refineries. A Gassonic. A General Monitors Company.
8. NIO Note D'Information Operationnelle (2013). 'Intervention sur les installations d'hydrogène et Les risques liés. En francés e inglés. Disponible en: [http://pnrs.ensosp.fr/Plateformes/Operationnel/Actualites/LA-NOTE-D-INFORMATIO-N-OPERATIONNELLE-N.I.O.-SUR-LE-RISQUE-HYDROGENE-GENESE-INTERET/\(mode\)/full/\(page\)/14](http://pnrs.ensosp.fr/Plateformes/Operationnel/Actualites/LA-NOTE-D-INFORMATIO-N-OPERATIONNELLE-N.I.O.-SUR-LE-RISQUE-HYDROGENE-GENESE-INTERET/(mode)/full/(page)/14) Descarga en: <http://pnrs.ensosp.fr/content/download/32685/550103/file/ENSOSP-PNRS-LA%20NIO%20SUR%20LE%20RISQUE%20HYDROGENE.pdf> [consultado el 25/11/2020].
9. Friedrich, A. et al. (2012). Ignition and heat radiation of cryogenic hydrogen jets. International Journal of Hydrogen Energy. Vol.31, pp.17589-17598.
10. Drysdale, D (1985). An introduction to fire dynamics. John Wiley and Sons, Chichester, p. 146
11. ISO/TR 15916 (2004). Basic considerations for the safety of hydrogen systems. Organización Internacional de Normalización. Comité Técnico ISO 197 Tecnologías de Hidrógeno. Organización Internacional de Normalización, Ginebra.
12. Okabayashi, K, Hirashima, H, Nonaka, T, Takeno, K, Chitose, K y Hashiguchi, K (2007). Introduction of Technology for Assessment on Hydrogen Safety. Mitsubishi Heavy Industries Ltd. Technical Review. Vol. 44(1), pp. 1-3.
13. US DoE, US Department of Energy (2008). Hydrogen safety training for first responders. Disponible en: <http://hydrogen.pnl.gov/FirstResponders/> [consultado el 11/11/2020].
14. UE N° 406/2010, Reglamento de la Comisión, de 26 de abril de 2010, Reglamento de ejecución (CE)N° 79/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre la homologación de vehículos impulsados por hidrógeno. Diario Oficial de la Unión Europea. Vol. 53, 18 mayo 2010. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:122:FULL:EN:PDF> [consultado el 09/11/2020].

Clase 6: Criterios para daños personales y materiales

15. Esbroeck, T and Vollmacher, K (2015). ISO propulsion energy identification. Commission for Extrication and New Technologies. Sin publicar.
16. (NF) EN 469:2006-02. Norma Europea. Ropa de protección para bomberos. Requisitos de rendimiento de la ropa de protección para bomberos.
17. (NF) EN 136: 1998. Norma Europea. Dispositivos de protección respiratoria. Máscaras completas. Requisitos, ensayos, marcado.
18. Schultz, MG, Market, F, Pilegaard, K (2004). Hidrógeno y medio ambiente. RisØ Energy Report, Roskilde, RisØ National Laboratory. P.58-62
19. CFCP, California Fuel Cells Partnership, 2014. Disponible en: <http://cafcp.org/> [consultado el 09/11/2020].