



Programa Europeo de Formación de Formadores para Equipos de Respuesta

## Tema 3

# Almacenamiento del hidrógeno

## NIVEL I

### Bombero

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

Esta clase está dedicada a las diferentes opciones de almacenamiento de hidrógeno: comprimido, licuado y en materiales sólidos, así como los peligros y de seguridad asociados a ellos. En concreto, se presenta la rotura catastrófica de los recipientes junto con las herramientas en línea que pueden utilizarse.

## Palabras clave

Almacenamiento de hidrógeno, hidrógeno comprimido, recipiente de almacenamiento, hidrógeno licuado, materiales de almacenamiento de hidrógeno, prevención de explosiones, fugas sin explosión

## Índice

Resumen	3
Palabras clave	3
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. Opciones de almacenamiento del hidrógeno	6
4. Almacenamiento del hidrógeno gaseoso	9
4.1 Tipos de recipientes de almacenamiento de cGH <sub>2</sub>	9
4.2 Almacenamiento de hidrógeno a bordo	10
4.3 Dispositivos de alivio de presión	11
5. Consecuencias del fallo catastrófico del almacenamiento de hidrógeno a alta presión (ondas expansivas, bolas de fuego, proyectiles)	11
5.1 Posibles peligros y problemas de seguridad asociados al cGH <sub>2</sub> : resumen	11
6. Tecnología de seguridad para fugas sin explosión	12
6.1 Nueva tendencia 2020	13
7. Utilización del e-Laboratorio	14
Agradecimientos	14
Referencias	14

### Clase 3: Almacenamiento del hidrógeno

## Clase 3: Almacenamiento del hidrógeno

### 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

El hidrógeno suele almacenarse y transportarse de dos formas: en forma de gas hidrógeno comprimido o como líquido criogénico. La forma más común de almacenar el hidrógeno es en cilindros/depósitos metálicos o de materiales compuestos composite de diferentes tamaños y capacidades. A veces pueden conectarse en un conjunto o reunirse en una jaula para su transporte. Debido al pequeño tamaño al tamaño tan pequeño de sus moléculas, el hidrógeno es propenso a filtrarse fácilmente a través de algunos materiales, grietas o malas juntas juntas en mal estado de los depósitos de almacenamiento, lo que le diferencia de otros gases comunes a con presiones equivalentes. Aunque el hidrógeno no suele ser corrosivo y no reacciona con los materiales utilizados en los contenedores de almacenamiento, bajo determinadas condiciones de temperatura y presión puede penetrar a través de materiales con estructura molecular metálica y provocar un fenómeno conocido como “fragilización por hidrógeno”. Además, en caso de incendio, los materiales compuestos utilizados para los recipientes de almacenamiento pueden degradarse y producirse pérdidas de contención de hidrógeno. En el peor de los casos, esto provocaría la ruptura súbita de un depósito de almacenamiento de hidrógeno, generando una onda expansiva seguida de una bola de fuego y proyectiles/misiles voladores. Por esta razón, los equipos de almacenamiento de hidrógeno se han de diseñar y mantener con los más altos estándares de seguridad para garantizar la integridad del contenedor.

En este tema se ofrece una visión general de las opciones de almacenamiento de hidrógeno y se abordan las principales cuestiones técnicas y de seguridad asociadas. También se trata el tema de la interacción del hidrógeno con diferentes tipos de materiales y la permeación, capacidad de penetración, del hidrógeno, algo enormemente relevante para las tecnologías de almacenamiento de hidrógeno. Cabe mencionar que el tema del almacenamiento de hidrógeno es muy amplio; por ello, este tema se centrará ante todo en los sistemas de almacenamiento de hidrógeno sólido, licuado y en alta presión, con especial atención a la tecnología de almacenamiento en alta presión, por ser la más común. Los fenómenos como las fugas sin llama, los incendios y las explosiones se tratarán en temas posteriores.

## 3. Opciones de almacenamiento del hidrógeno

El almacenamiento de hidrógeno es una tecnología que habilita toda la gama de aplicaciones de FCH, desde las que se encuentran en los vehículos, hasta aquellas para la generación de energía fija y portátil [1]. No existe una solución universal para el almacenamiento de hidrógeno. La solución se debe seleccionar cuidadosamente para responder a los requisitos específicos del sistema. Por ejemplo, el volumen y el peso son factores clave para los sistemas de FC, mientras que el peso puede ser un atributo deseable para en las carretillas

### Clase 3: Almacenamiento del hidrógeno

elevadoras de FC o las aplicaciones marinas. Para aplicaciones espaciales, la NASA lleva años utilizando hidrógeno líquido [2].

El hidrógeno es el gas más ligero, con una baja densidad normal de 0,09 g/L (a 288 K y 1 bar). Como se deduce de la Tabla 1, tiene un contenido energético por masa muy elevado en comparación con cualquier combustible (unas tres veces más que la gasolina). Sin embargo, debido a su baja densidad, el hidrógeno tiene un contenido energético muy bajo por unidad de volumen (unas cuatro veces menos que la gasolina). Por ello, el almacenamiento de hidrógeno representa un reto, en especial dentro de las limitaciones de tamaño y peso de un vehículo [3]. Se está investigando para desarrollar una tecnología de almacenamiento de hidrógeno segura, fiable, compacta, ligera y rentable.

*Capacidades volumétricas y gravimétricas* (densidades) son dos términos que se utilizan a menudo para describir los tipos de almacenamiento de gas. En el caso del hidrógeno, las investigaciones están orientadas a aumentar ambas capacidades, es decir, es deseable que las capacidades volumétricas y gravimétricas sean mayores. Como se indica en la [Tabla 1](#) hay más energía en 1 kg de hidrógeno que en 1 kg de gasolina. Sin embargo, es evidente que la misma masa de hidrógeno ocupa un volumen mayor. El hidrógeno no es un líquido a temperatura ambiente y por lo tanto, para almacenar las cantidades suficientes para una determinada autonomía del vehículo (por encima de los 500 km), es necesario comprimirlo a presiones muy elevadas (por ejemplo, a 700 bares para aplicaciones de automoción), o bien enfriarlo considerablemente para obtener una forma líquida. Estos extremos de presión y temperatura plantean problemas de seguridad para los materiales utilizados y en caso de pérdida de contención.

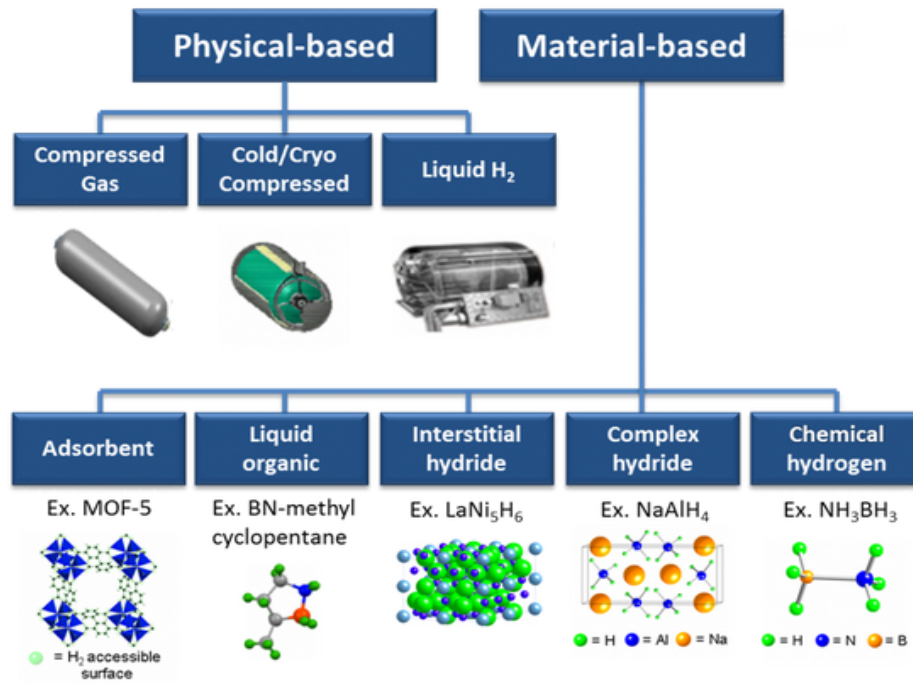
Tabla 1. Contenido energético en peso y en volumen del hidrógeno y otros combustibles comunes [4]

	<b>Hidrógeno</b>	<b>Gas natural</b>	<b>Gasolina</b>
<b>Contenido de energía</b> por unidad de masa	<b>2,8 veces</b> más que la gasolina	<b>~1,2 veces</b> más que la gasolina	<b>43 MJ/kg</b>
<b>Contenido de energía</b> por unidad de volumen	<b>4 veces</b> menos que la gasolina	<b>1,5 veces</b> menos que la gasolina	<b>120 MJ/galón</b>

<sup>1</sup> La capacidad gravimétrica determina el peso de un depósito necesario para almacenar una cantidad determinada de H<sub>2</sub>



### Clase 3: Almacenamiento del hidrógeno



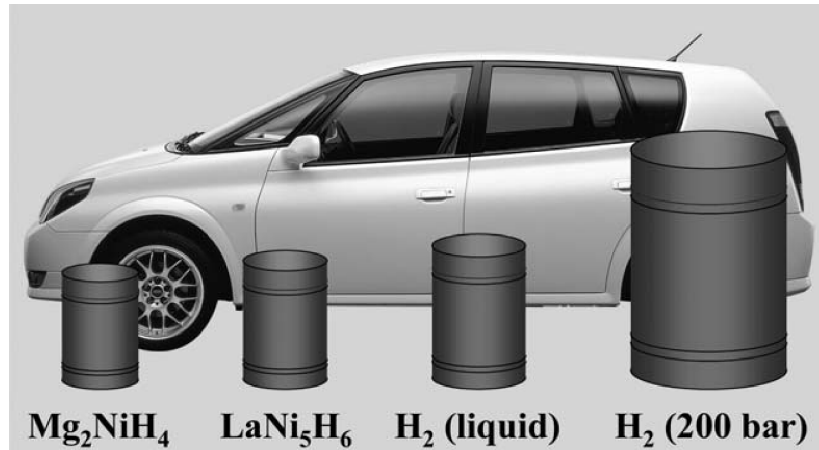
Fuente: US Department of Energy (DoE): <http://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>

Figura 1 Resumen sobre tecnologías de almacenamiento de hidrógeno

El hidrógeno puede almacenarse físicamente como gas comprimido (CGH<sub>2</sub> Compressed Gas Hydrogen) o como líquido criogénico (LH<sub>2</sub>). Los sistemas de almacenamiento de hidrógeno gaseoso suelen requerir recipientes de gas comprimido, es decir, tanques (para soportar hasta 700 bares de presión). El almacenamiento de hidrógeno en forma líquida requiere temperaturas extremadamente bajas porque su punto de ebullición a 1 atm de presión es de -253°C. Los depósitos de LH<sub>2</sub> se utilizan habitualmente para el almacenamiento y el transporte de hidrógeno en masa (véase el tema "Introducción a las aplicaciones de FCH y a la seguridad del hidrógeno"). El hidrógeno también puede almacenarse en materiales: en la superficie de los sólidos (por adsorción) o dentro de los mismos (por absorción) [1]. En la Figura 1 se ofrece un resumen de las opciones de almacenamiento de hidrógeno.

La Figura 2, extraída de las referencias [5, 6], ilustra las densidades volumétricas alcanzadas o que se espera alcanzar para las distintas opciones de almacenamiento en aplicaciones a bordo de vehículos. El Departamento de Energía de EE.UU. ha establecido objetivos en su programa de investigación [7] para cada uno de los parámetros, de modo que la investigación puede interrumpirse si parece que uno de los objetivos no puede alcanzarse.

## Clase 3: Almacenamiento del hidrógeno



Fuente: Risø Energy Report 3, 2004.

Figura 2 El volumen que ocupan 4 kg de hidrógeno almacenados de diferentes maneras, en relación con el tamaño de un coche.

## 4. Almacenamiento del hidrógeno gaseoso

En la actualidad, la forma más común de almacenar el hidrógeno es como gas comprimido en cilindros metálicos y de recubrimientos de compuestos a diferentes presiones. Como se ha mostrado en temas anteriores, muchas aplicaciones de FC utilizan el hidrógeno a presiones más altas.

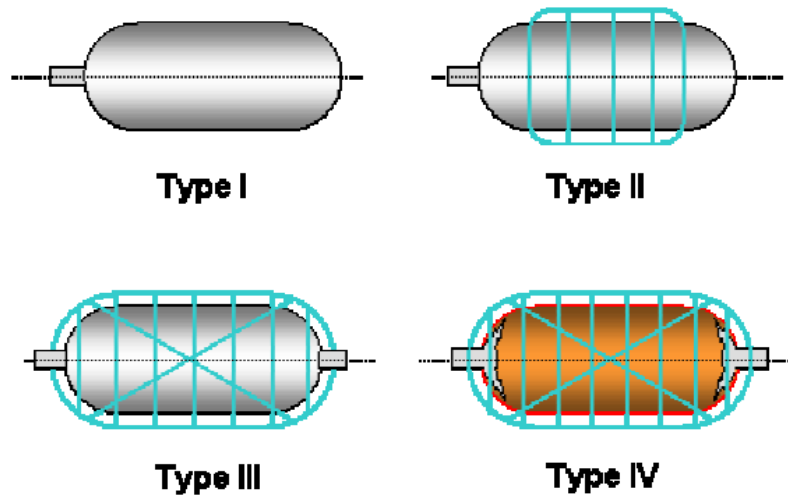
### 4.1 Tipos de recipientes de almacenamiento de $CGH_2$

Debido a una serie de propiedades únicas del hidrógeno (véase el tema "Propiedades del hidrógeno relevantes para la seguridad"), el hidrógeno debe ser compatible con los materiales que componen las paredes de los depósitos de almacenamiento. Se han desarrollado y utilizado cuatro tipos de depósitos para el transporte y el almacenamiento de hidrógeno:

- Tipo I: contenedor metálico sin soldaduras
- Tipo II: contenedor metálico sin soldaduras envuelto con un compuesto de fibra de resina
- Tipo III: revestimiento metálico totalmente envuelto con un compuesto de fibra de resina
- Tipo IV: revestimiento polimérico totalmente envuelto con compuesto de fibra de resina

En 2014 se fabricó el primer prototipo de tanque de tipo V. Se trata de un depósito realizado enteramente en materiales compuestos sin revestimiento [8]. Las representaciones esquemáticas de los tipos de depósitos utilizados para el  $CGH_2$  se muestran en la [Figura 3](#).

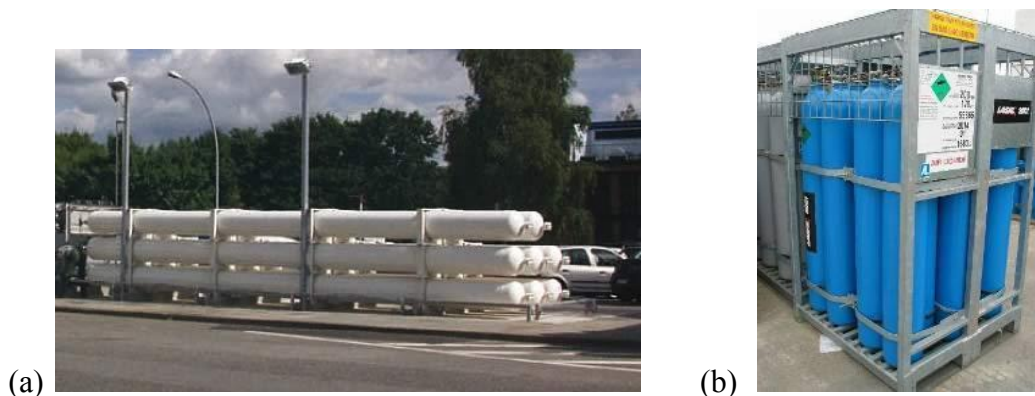
### Clase 3: Almacenamiento del hidrógeno



Fuente: Barthelemy, 2009 [10].

Figura 3 Tipos de depósitos de hidrógeno utilizados para almacenar hidrógeno gaseoso comprimido

Los ejemplos de recipientes de almacenamiento que pueden encontrarse en instalaciones fijas incluyen: un rack o una jaula de botellas, conjuntos de botellas fijos o un remolque de botellas utilizado para suministrar hidrógeno a las estaciones de servicio (Figura 4).



Fuente: Banco de imágenes de AirLiquide

Figura 4 Ejemplos de recipientes de almacenamiento de hidrógeno comunes para aplicaciones fijas:

(a) conjunto fijo de botellas, (b) rack o jaula de botellas

## 4.2 Almacenamiento de hidrógeno a bordo

Como ya se ha mencionado, los depósitos más adecuados para almacenar hidrógeno a bordo de vehículos son los de tipo III y tipo IV. Estas tecnologías también se utilizan comúnmente para el almacenamiento de otros gases (por ejemplo, gas natural o aire), pero la principal diferencia es la necesidad de alcanzar presiones mucho más altas en el almacenamiento de hidrógeno a bordo: 350 bar a 700 bar para el hidrógeno, frente a los 200 bar del gas natural.

### Clase 3: Almacenamiento del hidrógeno

Los sistemas de almacenamiento de hidrógeno instalados en un vehículo deben cumplir las siguientes funciones:

- recibir el hidrógeno durante el reabastecimiento de combustible;
- contener el hidrógeno hasta que se necesite;
- liberar el hidrógeno al sistema de FC para alimentar el vehículo.

Los vehículos actuales de FC para pasajeros, suelen almacenar hasta 6 kg de hidrógeno a bordo, necesarios para proporcionar una autonomía de conducción de entre 400 y 500 km [4]. Al igual que los autobuses de CNG, los autobuses alimentados con hidrógeno lo almacenan en el techo en varios depósitos. La pila de combustible suele estar situada en el compartimento trasero del motor del autobús. Se pueden llegar a almacenar hasta 50 kg de hidrógeno a bordo de un autobús de FC.

#### 4.3 Dispositivos de alivio de presión

La principal característica de seguridad de los sistemas de almacenamiento de hidrógeno (tanto para aplicaciones automotrices como fijas) son los dispositivos de alivio de presión (*pressure relief devices*, PRD), cuya definición es la siguiente: un PRD es un dispositivo de seguridad que protege contra el fallo de un recipiente de almacenamiento liberando parte o la totalidad del contenido del depósito en caso de altas temperaturas, altas presiones o una combinación de ambas [9]. En caso de incendio, el *Dispositivo de Alivio de Presión Activado Térmicamente* (conocido por sus siglas en inglés TPRD) asegura una liberación controlada del hidrógeno gaseoso,  $\text{GH}_2$ , desde los contenedores a alta presión antes de que las temperaturas alcanzadas debiliten sus paredes y puedan provocar una rotura catastrófica. Los TPRD ventilan todo el contenido del contenedor rápidamente. No se resellan ni permiten presurizar de nuevo dicho contenedor de hidrógeno.

### 5. Consecuencias del fallo catastrófico del almacenamiento de hidrógeno a alta presión (ondas expansivas, bolas de fuego, proyectiles)

¿Qué ocurre si el TRPD no se activa en un incendio? Los estudios realizados en el Southwest Research Institute, EE.UU. [10, 11] demostraron que se producirá una rotura súbita del depósito.

#### 5.1 Posibles peligros y problemas de seguridad asociados al $\text{cGH}_2$ : resumen

Los peligros potenciales asociados al almacenamiento de  $\text{CGH}_2$  a bordo de vehículos incluyen:

### Clase 3: Almacenamiento del hidrógeno

- Dificultad para identificar el escape de hidrógeno, ya que el gas es inodoro, incoloro e insípido. No es posible agregar sustancias odorantes al hidrógeno.
- El hidrógeno puede provocar la *fragilización* de los metales. Esto puede reducir la resistencia del material y en consecuencia, provocar la fractura del contenedor, lo que conduce a una fuga de hidrógeno.
- Acumulación de hidrógeno, durante un largo periodo de tiempo, en recintos como garajes, talleres mecánicos, compartimentos de pasajeros de vehículos. Puede producir asfixia debido al desplazamiento del aire por el hidrógeno.
- Formación de mezclas inflamables de hidrógeno-oxígeno o hidrógeno-aire. La entrada de esta mezcla inflamable en el sistema de ventilación de un edificio puede provocar una deflagración o incluso una detonación.
- Los chorros de hidrógeno a alta presión pueden cortar la piel no protegida [12].
- La sobrepresión y la onda expansiva pueden provocar: daños en los tímpanos de las personas, rotura de depósitos, proyección de objetos y restos a mucha distancia, cristales rotos, etc.
- Un pico de sobrepresión, puede llevar al derrumbamiento de un garaje en tan solo un segundo (se abordará en los siguientes temas).
- El hidrógeno es fácilmente inflamable ya que su Energía de Ignición Mínima (MIE) es de 0,017 mJ (10 veces menor en comparación con otros combustibles). Una chispa estática puede encender una fuga de hidrógeno.
- Cuando el hidrógeno puro arde, sus llamas son invisibles a la luz del día.
- El hidrógeno arde rápidamente y no produce humo.
- En un incendio externo, el calor o la radiación térmica pueden provocar la ruptura mecánica de un depósito debido a la descomposición térmica de los materiales poliméricos y compuestos. El valor actual de la resistencia al fuego (según publicaciones disponibles) es de hasta 12 minutos antes de que pueda producirse un fallo catastrófico.
- En caso de mal funcionamiento del TPRD, puede que se produzca el peor de los casos: una ruptura (es decir, un fallo catastrófico) del depósito de almacenamiento de hidrógeno, con la generación de una bola de fuego, ondas expansivas y proyectiles en llamas.

## 6. Tecnología de seguridad para fugas sin explosión

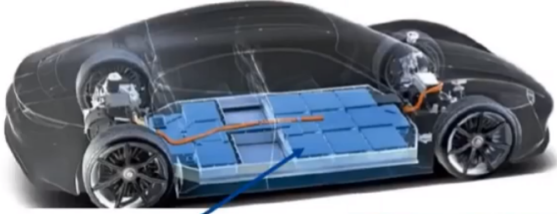
En muchos países del mundo se han fabricado y puesto en servicio recipientes de material compuesto para el almacenamiento a bordo de hidrógeno a alta presión para aplicaciones de carretera, ferroviarias, marítimas y de aviación. El punto más débil de los depósitos de materiales compuestos es su reacción al fuego. Por ejemplo, en un incendio localizado, es posible que el TPRD no se active, como han demostrado, por ejemplo, los accidentes con vehículos de gas natural comprimido en Estados Unidos. Además, el TPRD podría bloquearse por un incendio en un accidente, etc. Estos posibles fallos en la ingeniería de seguridad del hidrógeno pueden ser críticos para la protección de vidas y bienes debido a las devastadoras consecuencias de la rotura del tanque, es decir, la onda expansiva, la bola de fuego y los proyectiles.

### 6.1 Nueva tendencia 2020

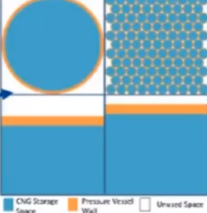
En los últimos 10 años, grandes tanques de presión recubiertos de material compuesto fueron una solución viable en lo que respecta a la integración del sistema de almacenamiento de hidrógeno en la arquitectura actual de los vehículos, desarrollada sobre todo para los motores de combustión. Con la rápida expansión de los Vehículos Eléctricos de Baterías (BEV), en todo el mundo, los fabricantes de automóviles tienen la necesidad de utilizar la misma arquitectura de vehículos y buscar un nuevo diseño para los sistemas de almacenamiento con depósitos adaptados. La integración de ambos sistemas energéticos en la misma carrocería permitiría economías de escala, simplificaría y reduciría los procesos de ingeniería y fabricación y permitiría una producción flexible, que amortiguara las fluctuaciones de la demanda sin comprometer las expectativas del cliente en cuanto a espacio, rendimiento, seguridad o coste. En consecuencia, la justificación de las nuevas geometrías deseadas por los fabricantes de automóviles se reduce, por un lado, a poder utilizar la misma plataforma para vehículos BEV y FCEV (Figura 5), lo que implica depósitos con forma de "caja". Y por otro lado, aumentar la autonomía de los vehículos aprovechando el espacio perdido.

Clase 3: Almacenamiento del hidrógeno

**OEM desires**



- Same platform for BEV and FCEV = « box » shape tanks
- Longer autonomy = use of void/lost spaces



**Options**

Pressure Vessel (LOW) ← SHAPEABLE → (HIGH) Blow Molded Container

- Consolidated Container
- Repeating Elements
- Serpentine Container
- Internal Support Container

Conformable tanks (GTR13)

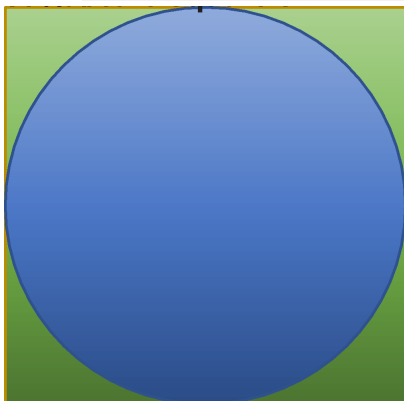



Figura 5 Nueva tendencia para la integración de sistemas de almacenamiento comprimido y geometrías

## 7. Utilización del e-Laboratorio

El e-Laboratorio para la seguridad del hidrógeno se ha presentado en la Clase 1. Existe una serie de herramientas especialmente útiles para los sistemas de almacenamiento. Entre ellas destacan el cálculo de la dinámica de explosión de un depósito de almacenamiento, el tiempo hasta la ruptura del depósito y las correlaciones de bolas de fuego.

### Agradecimientos

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

### Referencias

1. DoE. Almacenamiento de hidrógeno (2015). Disponible en: <http://energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage> [consultado el 06/11/2020].
2. NASA. Resumen: aplicaciones espaciales de hidrógeno y pilas de combustible. Disponible en: [http://www.nasa.gov/topics/technology/hydrogen/hydrogen\\_2009.html](http://www.nasa.gov/topics/technology/hydrogen/hydrogen_2009.html) [consultado el 06/11/2020].
3. Introduction to Hydrogen for Code Officials, U. S. Department of Energy, Washington DC. Disponible en: [http://www.hydrogen.energy.gov/training/code\\_official\\_training/](http://www.hydrogen.energy.gov/training/code_official_training/) [consultado el 06/11/2020].
4. US DoE, US Department of Energy (2008). Hydrogen safety training for first responders. Disponible en: <http://hydrogen.pnl.gov/FirstResponders/> [consultado el 06/11/2020].
5. Risø Energy Report 3: Hydrogen and its competitors (2004). Editado por Larsen, H, Feidenhans, R y Petersen, L.S. Risø National Laboratory. ISBN 87-550-3349-0.
6. Zuetzel, A (2013). Hydrogen: production, storage, applications and safety. H2FC European Technical School on Hydrogen and Fuel Cells. 23-27 septiembre 2013, Creta, Grecia.



### Clase 3: Almacenamiento del hidrógeno

7. DoE targets for on-board hydrogen storage systems for light-duty vehicles (2009). Publicado en el sitio web DOE/EERE. Disponible en: [http://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f12/targets\\_onboard\\_hydro\\_storage.pdf](http://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f12/targets_onboard_hydro_storage.pdf) [consultado el 06/11/2020].
8. Mafeld, A. (2015). CPVs: Regional trends in the global market. JEC Asia: Composite Pressure Vessels Forum. Singapur, 22 de octubre de 2015.
9. Sunderland, P (2010a). Hydrogen vehicles and safety regulations in the U.S. Materiales docentes del 8º ISCARW, Belfast, Reino Unido, junio de 2010.
10. Zalosh, R (2007). Blast waves and fireballs generated by hydrogen fuel tank rupture during fire exposure. Actas del 5º Seminario sobre Incendios y Peligros de Explosiones, Edimburgo, Reino Unido, 23-27 abril 2007, pp. 2154-2161.
11. Weyandt, N (2006). Vehicle bonfire to induce catastrophic failure of a 5000-psi hydrogen cylinder installed on a typical SUV, Motor Vehicle Fire Research Institute. Report. Diciembre de 2006. Disponible en: [www.mvfri.org](http://www.mvfri.org) [consultado el 06/11/2020].
12. Hammer, W (1989). Occupational Safety Management and Engineering, 4ª edición, Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, 1989, ISBN 0-13-629379-4, capítulo 19.