

4. Barreras para la Introducción del Hidrógeno

4.1 Seguridad

4.1.1. Introducción

La extrema inflamabilidad del hidrógeno conlleva una gran preocupación en su introducción como portador de energía. Sobre todo en la aplicación del transporte. Mucha gente relaciona los riesgos del hidrógeno con el accidente del Hindenburg, pero

Accidente de Estocolmo

El 3 de Marzo de 1983 un camión estaba distribuyendo varios gases industriales en diferentes localizaciones de Estocolmo. Cuando se estaba descargando un cilindro de argón, un cilindro de hidrógeno se escapó de una red de 18 cilindros interconectados; cada uno de los cilindros tenía un volumen de 50 litros y una presión de trabajo de 200 bar. Análisis recientes estiman que el resultado de la explosión implicó unos 4,5 kg de hidrógeno. Hirió a 16 personas, afectó gravemente a la fachada de un edificio cercano, dañó a diez vehículos y rompió los cristales en 90 metros a la redonda.¹

un escenario más realista sería el accidente que ocurrió en Estocolmo en 1983. Y los esfuerzos deberían centrarse en que accidentes como ese no volvieran a suceder.

El hidrógeno tiene algunas propiedades que lo hacen más peligroso que los combustibles convencionales como la gasolina, o el gas natural. El bajo límite de inflamabilidad de hidrógeno en aire es más alto que en los gases licuados del petróleo o la gasolina, pero su rango de inflamabilidad es muy amplio (4-75% de hidrógeno en aire). En el rango de concentración de 15-45% la energía de ignición del hidrógeno es diez veces menor que el de la gasolina. El “quenching gap” el orificio más pequeño a través de el cual la llama se puede propagar, es considerablemente menor para el hidrógeno que para otros combustibles, lo que significa que las prestaciones de los arrestallamas y del equipamiento similar debe ser mejores.

Nota: sobre las propiedades del hidrógeno se puede encontrar más información en el apartado 2.4 Propiedades del Hidrógeno

4.1.2. Riesgos y recomendaciones en las instalaciones de hidrógeno

Las propiedades específicas del hidrógeno lo convierten en un elemento cuyo uso y manejo están asociados a una serie de riesgos ante los cuales se deben de tomar las precauciones necesarias. Los riesgos asociados con el uso del hidrógeno pueden ser caracterizados como fisiológicos (congelación, enfermedades respiratorias y asfixia), físicos (cambios de fase y fallos de componentes) y químicos (ignición y combustión). Debido a la mínima energía que necesita el hidrógeno gaseoso para incendiarse a temperatura y presión ambiente, la experiencia demuestra que el mayor énfasis debe centrarse en la contención del hidrógeno, en la detección de fugas y en la ventilación de las zonas aledañas. El peligro principal está asociado con cualquier forma de hidrógeno que inadvertiblemente produce una mezcla inflamable o detonante, seguida de fuego o

detonación. La seguridad se mejora si los diseñadores y el personal de operación son conscientes de los riesgos específicos asociados al manejo y uso del hidrógeno.

Los principales riesgos asociados al manejo y uso del hidrógeno se ha clasificado de la siguiente forma:

- a. Fuegos y Explosiones
- b. Fugas
- c. Dispersión del hidrógeno
- d. Fallo en los tanques de almacenamiento
- e. Fallos en los sistemas de apertura y cierre
- f. Purgado
- g. Fallos en el sistema de vaporización
- h. Condensación del aire

Y se detallan a continuación.

a. Fuego y Explosiones

Un peligro potencial de incendio existe siempre que el hidrógeno está presente. Los fuegos y explosiones se producen en los distintos componentes de los sistemas de hidrógeno como consecuencia de variadas fuentes de ignición. Las fuentes de ignición incluyen entre otras a las chispas mecánicas, debidas, por ejemplo, al rápido cierre de válvulas, las descargas electrostáticas, las chispas producidas por el equipo eléctrico y las operaciones de soldadura y corte.

El hidrógeno gaseoso se difunde rápidamente aumentando la turbulencia del aire, lo que a su vez produce un aumento de la tasa de dispersión del hidrógeno gaseoso. Tras una fuga de hidrógeno líquido, se suele producir la rápida evaporación del mismo, este hidrógeno se difunde rápidamente obteniéndose como resultado una mezcla inflamable que puede estar situada a una gran distancia del punto de escape. A pesar de que las fuentes de ignición no estén presentes en el punto de fuga, el fuego se puede producir si el movimiento de la mezcla inflamable llega hasta una fuente de ignición.

Una deflagración se produce cuando una mezcla, cuya composición se encuentra dentro de los límites de ignición, es incendiada en un punto. La detonación se produciría si la mezcla de hidrógeno gaseoso aire se encuentra dentro de los límites de detonabilidad y está presente una fuente de energía apropiada. Una deflagración se puede transformar en una detonación si se produce en un lugar confinado, o existe un mecanismo de aceleración de la llama.

La observación, únicamente, no es una técnica fiable para detectar fuegos de hidrógeno puro y aire ni para evaluar su gravedad.

b. Fugas

Las fugas son normalmente causadas por la deformación de sellados y juntas, por la existencia de válvulas desalineadas, o por fallos en pestañas entre otros. Una fuga puede provocar fallos posteriores de los materiales de construcción. En ocasiones las fugas de hidrógeno líquido se pueden advertir por el hecho de que el hidrógeno al escapar se vaporiza de forma que el vapor frío en la atmósfera provoca la condensación de la humedad ambiental, que aparece en forma de nube.

La difusión del hidrógeno a través de paredes metálicas es técnicamente insignificante. Cuando se usan materiales orgánicos puede aparecer alguna pérdida de masa tras unos instantes pero no es esperable la formación de atmósferas explosivas.¹⁰⁸

Resulta igualmente peligroso la entrada de aire u otros contaminantes en los sistemas que contienen hidrógeno.

c. Dispersión del hidrógeno

Gracias a la flotabilidad positiva del hidrógeno, éste no tiende a propagarse horizontalmente, salvo bajo ciertas condiciones. A pesar de que el hidrógeno saturado es más pesado que el aire a las temperaturas existentes tras la evaporación de un derrame, rápidamente se vuelve más ligero que el aire, haciendo que la nube ascienda. La dispersión de la nube depende de la velocidad y dirección del viento y puede influir la turbulencia atmosférica y las estructuras cercanas. Aunque la condensación de la humedad es un indicador de hidrógeno frío, la forma de la niebla no da una descripción precisa de la localización de la nube de hidrógeno¹⁰⁹. El uso de diques o barricadas alrededor de los dispositivos de almacenamiento de hidrógeno deben ser cuidadosamente examinadas porque es preferible, en general, dispersar cualquier fuga de hidrógeno tan rápido como se pueda. Los diques no deberían ser utilizados a no ser que su propósito sea limitar o contener la propagación de una fuga líquida debido a la proximidad de edificaciones o de fuentes de ignición. Sin embargo, tal confinamiento puede retrasar la dispersión de cualquier líquido limitando la tasa de evaporación, y podría provocar una combustión.

¹⁰⁸ Hidrógeno Seguridad y Normalización. “Hidrógeno y Pilas de Combustible” EOI, Sevilla. 21-22 de Junio de 2004

¹⁰⁹ Witcofsky y Chirivela 1982.

d. Fallo en los tanques de almacenamiento

La liberación de hidrógeno líquido o gaseoso puede producir una ignición y combustión, que provoque fuegos y explosiones. Los daños pueden extenderse considerablemente más lejos de la localización del almacenamiento debido al movimiento de la nube de hidrógeno. Los fallos en los tanques pueden empezar por un fallo en el material causado por la excesiva presión provocada por el calor de fuga, por el fallo de la presión calculada para el sistema. Por otro lado el hidrógeno tiende a fragilizar ciertos materiales; la interacción de los átomos de hidrógeno con redes cristalinas, aumenta la generación de roturas por corrosión y stress. Los aceros ferríticos son más propensos bajo condiciones inapropiadas (altas tensiones en el material). Los aceros austeníticos, Al, Ni, son menos propensos. De ahí la importancia de la buena selección de los materiales.

e. Sistemas de apertura y escape

Los accidentes en los sistemas de apertura y escape son atribuidos a la ventilación inadecuada y a la entrada inadvertida de aire en la apertura. El flujo contrario de aire se puede prevenir con el diseño de unas aperturas estanco, la revisión de válvulas y de las selladuras moleculares.

f. Purgado

Las tuberías y los contenedores deben ser purgados con un gas inerte antes y después de haber usado hidrógeno en el equipo. El nitrógeno se puede utilizar si la temperatura del sistema es superior a 80 K, y el helio se debe utilizar si la temperatura es inferior a 80 K. Alternativamente, una purga de hidrógeno gaseoso se puede utilizar para calentar el sistema hasta 80 K y después cambiar a una purga de nitrógeno si el sistema está por debajo de 80 K; sin embargo, se puede producir parte de condensación del hidrógeno gaseoso si el sistema contiene hidrógeno líquido.

g. Fallos en el sistema de vaporización

La tubería de la válvula puede fallar en los sistemas de vaporización, causando daños desde exposiciones a baja temperatura. Se puede producir la ignición del hidrógeno dando lugar a daños como fuegos y explosiones.

h. Condensación del aire

Una línea no aislada que contenga hidrógeno líquido o hidrógeno gaseoso a baja temperatura, como una línea de admisión, puede estar lo suficientemente fría, menos de 90 K, como para condensar aire en el exterior de la tubería. Debe evitarse que el aire condensado entre en contacto con materiales sensibles, como el acero al carbono. Igualmente debe evitarse que el aire condensado gotee sobre materiales combustibles como la brea y el asfalto, ya que se podría crear una mezcla explosiva.

Por otro lado, el hidrógeno tiene otras propiedades que también pueden suponer riesgo si no se las tiene en cuenta. Estas son:

- a. El hidrógeno es un potente agente reductor, y en contacto con óxidos metálicos se oxida y produce calor.
- b. El hidrógeno daña o es inadecuado para ser utilizado con muchos materiales que se usan normalmente en válvulas, tuberías y juntas.
- c. Al contrario que con otros gases comprimidos, al disminuir la presión de hidrógeno aumenta su temperatura, en términos físicos, el hidrógeno tiene un coeficiente de Joule-Thomson negativo a temperatura ambiente. Cuando se libera hidrógeno desde un contenedor a alta presión, el resultado es que este aumento de temperatura puede contribuir a la ignición.
- d. El hidrógeno forma mezclas explosivas con muchos gases, incluidos el cloro y otros halógenos.
- e. El hidrógeno se difunde fácilmente a través de muchos materiales convencionales que se usan en las tuberías y válvulas a través de agujeros que son lo suficientemente pequeños como para retener de forma segura a otros gases.

Además, al contrario que los gases licuados del petróleo y los vapores de la gasolina, el hidrógeno es extremadamente ligero y se eleva rápidamente en el aire. En una atmósfera abierta, esto es generalmente una ventaja, pero puede ser peligroso en edificios que no están diseñados para el hidrógeno. Muchos países, las normas de edificación, por ejemplo, en garajes, exigen aberturas de ventilación cerca del suelo, para eliminar los vapores de la gasolina, pero esto no es normalmente una ventilación suficiente para fugas de hidrógeno. El hidrógeno liberado en un edificio se puede concentrar a nivel del techo, y la explosión resultante podría ser muy destructiva.

4.1.3 Peligros fisiológicos en presencia de hidrógeno

A pesar de que el hidrógeno no es tóxico, está clasificado simplemente como asfixiante, y no tiene límite umbral de toxicidad, el personal presente durante las fugas, fuegos o explosiones de los sistemas de hidrógeno pueden sufrir varios tipos de daños.

2. **Asfixia:** se produce cuando el hidrógeno o el gas de purga localizado en una zona disminuyen el porcentaje de oxígeno por debajo del 19.5% en volumen. Hay diferentes grados de asfixia dependiendo de la concentración del oxígeno en aire:

Tabla 16 – Síntomas dependiendo de la concentración de oxígeno en aire.

<i>% en volumen de oxígeno en el aire</i>	<i>Síntomas</i>
19-15	<i>Disminución de la capacidad de ejecución de tareas; puede inducir a síntomas prematuros en personas con problemas de corazón, pulmón o circulatorios.</i>
15-12	<i>Respiración profunda, aceleración del pulso y disminución de la coordinación.</i>
12-10	<i>Vértigo, disminución de la conciencia, labios levemente azules.</i>
10-8	<i>Nauseas, vómitos, inconsciencia, palidez, desmayo, fallos mentales.</i>
8-6	<i>Muerte en 8 minutos; con tratamiento en 6 minutos el 50% muere y el 50% se recupera; el 100% se recupera con un tratamiento en 4 a 5 minutos.</i>
4	<i>Coma en 40 segundos, convulsiones, parada respiratoria, muerte.</i>

Sin embargo con la excepción del oxígeno, cualquier gas puede producir asfixia.

3. La onda de expansión de las explosiones puede causar daños como resultado de las sobrepresiones generadas.
4. El calor por radiación que alcanza y es absorbido por una persona desde una llama de hidrógeno gaseoso-aire es directamente proporcional a una serie de

factores entre los que se incluyen el tiempo de exposición, el calor de combustión, el tamaño de la superficie ardiente y las condiciones atmosféricas, sobretodo el vapor de agua. Las siguientes figuras muestran la relación entre la distancia y el peso de hidrógeno quemado para quemaduras de tercer grado por radiación térmica de 134J/m^2 , y la intensidad de calor de radiación frente al tiempo de exposición para el umbral de valores dañinos.

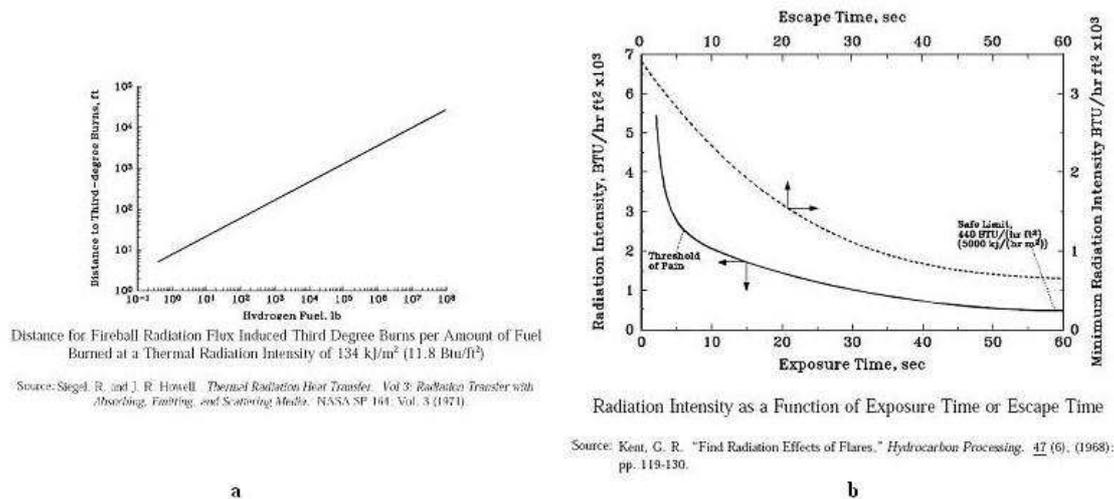


Figura 94 – (a) Relación entre la distancia y el peso del hidrógeno quemado para quemaduras de tercer grado por radiación térmica; (b) Intensidad de la radiación frente al tiempo de exposición para el umbral de valores dañinos.

5. El contacto con el hidrógeno líquido puede causar quemaduras serias o quemaduras por congelamiento, quemaduras criogénicas. Este tipo de quemaduras también se pueden sufrir por contacto con la superficie de tanques fríos.
6. Largas exposiciones a fugas de hidrógeno líquido podrían dar lugar a hipotermias si no se toman las precauciones necesarias.

4.1.4. Propiedades del hidrógeno que lo hacen más seguro que otros combustibles

1. **El hidrógeno no es explosivo.** El hidrógeno necesita una fuente de ignición eterna para explotar o incendiarse, a diferencia de los explosivos, como el acetileno, que no la necesitan. Un ejemplo de la seguridad que presenta el hecho de que el hidrógeno no sea explosivo la encontramos en el accidente del Hindenburg.

Accidente del Hindenburg

Con respecto al accidente del Hindenburg, el Hindenburg no explotó sino que salió ardiendo, y a medida que el fuego se extendía, el zepelín cayó al suelo lo suficientemente despacio como para que dos tercios de los pasajeros (62 personas) sobreviviesen. De las 35 que murieron, 33 saltaron y murieron por la caída. Dos personas murieron quemadas, pero hay quien lo achaca a los tanques de diesel que



Sam Shere, *Burning of the Hindenburg*, Lakehurst, New Jersey, May 6, 1937.

© The Bettmann Archive.

alimentaban los motores, incluso aseguran que, a pesar de las grandes cantidades de hidrógeno que utilizaba como gas elevador, nadie en el accidente murió a causa del hidrógeno, que rápidamente se disipó. El zepelín contenía unos $200.000\text{m}^3 = 18.000\text{kg}$ de hidrógeno gaseoso.

Este accidente es aún hoy en día fuente de controversia. Y es un ejemplo que utilizan tanto los defensores de la seguridad del hidrógeno como para sus detractores.

2. El hidrógeno no es tóxico. Ni el hidrógeno ni los productos de su combustión son tóxicos o perjudiciales. Según datos industriales, aproximadamente el 80% de las personas que mueren en los accidentes de aviones comerciales, no mueren como consecuencia del golpe, sino por el fuego y el humo tóxico.¹¹⁰

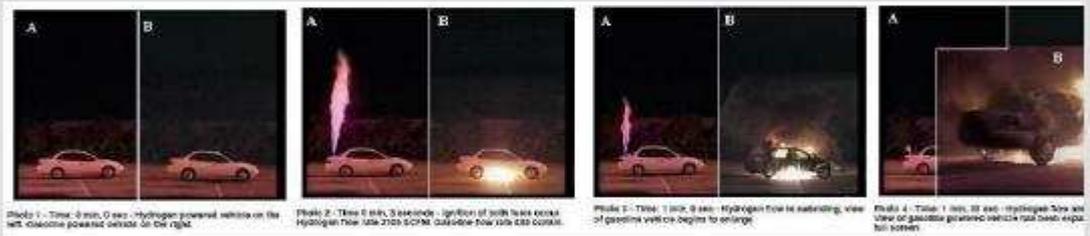
3. El hidrógeno tiene una alta difusividad, por lo tanto desaparece rápidamente si se escapa. El doctor Swain con la universidad de Miami realizó un experimento en el que comparaba los efectos en un accidente entre un coche con gasolina y otro con hidrógeno. El coche de hidrógeno resultó mucho menos dañado que el de gasolina, entre otras razones por la difusividad del hidrógeno y el hecho de que sea más ligero que el aire.

¹¹⁰ www.braunforpresident.us/headlines/policy_briefs/pbpdf/HydrodgenFueledAircraft.pdf

Hidrógeno vs Gasolina

El Dr. Michael Swain con la Universidad de Miami, intentó simular el incendio en dos coches. En uno con una pérdida de hidrógeno (A) y en el otro con pérdida de gasolina. Y realizó una grabación de lo que sucedía si el combustible se incendiaba. El experimento demostró que, al menos en los supuestos del experimento, el incendio con gasolina fue mucho más destructor y dañino que con hidrógeno. De hecho los daños producidos en el vehículo de gasolina fueron graves, mientras que el vehículo de hidrógeno resultó prácticamente ileso.

Una secuencia de fotos de dicho experimento aparecen a continuación:



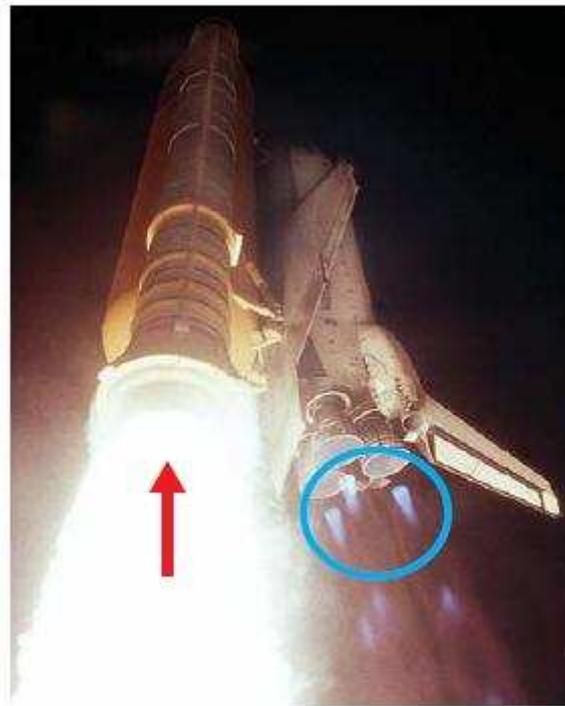
Según el Dr. Swain, para que una fuga en un vehículo que utiliza el hidrógeno como combustible produzca un accidente grave tienen que producirse cuatro fallos:

1. Un fallo en el cerramiento del combustible.
2. Que falle el sensor que detecta las fugas de hidrógeno y que corta el flujo de hidrógeno.
3. Que falle la válvula que regula el exceso de flujo.
4. Que falle el programa que compara que el flujo de hidrógeno es igual al flujo consumido por la célula de combustible.

Mientras que para el incendio del coche de gasolina, tan solo bastó con una pequeña perforación realizada en el depósito de combustible.

4. El hidrógeno no forma una alfombra de fuego. Esto está en contraste con los hidrocarburos convencionales, como la gasolina y el diesel, donde el hidrógeno está unido a átomos de carbono, que causan que el combustible se pegue a las personas como pegamento y literalmente queme la piel.

5. El calor radiante emitido por una llama de hidrógeno es diez veces menor al que emite una llama de hidrocarburos. La combustión del hidrógeno produce principalmente calor y agua. Debido a la ausencia de carbono, y la presencia de vapor de agua que absorbe calor cuando el hidrógeno se quema, la llama de hidrógeno tiene un significativo menor calor de radiación comparado con la llama de un hidrocarburo. Este hecho hace que disminuya el riesgo de incendios secundarios.



*Hydrocarbon flames (left, red arrow)
vs. hydrogen flames (right, blue circle)*

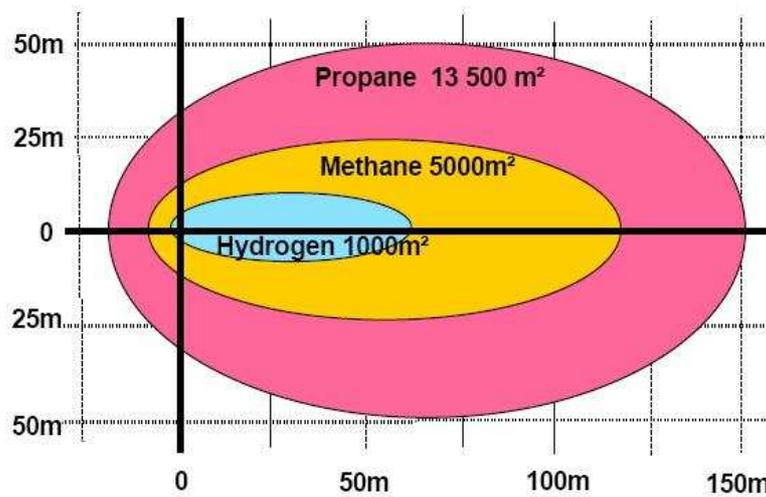
Figura 95 – Comparación entre una llama de hidrocarburo y una de hidrógeno.¹¹¹

6. En una atmósfera abierta, **el hidrógeno se eleva rápidamente**, por lo tanto una pequeña zona es peligrosa si se produce una fuga de hidrógeno. En la figura siguiente se reflejan las zonas de peligro si se produce una fuga de hidrógeno, metano o propano. En la figura siguiente Se puede observar claramente que entre el hidrógeno, metano y propano, el hidrógeno es el que tiene una zona menor de peligrosidad.

¹¹¹ NASA

Danger Zones of Spilled Liquid Gases

Example: 3.3m³ Liquid Gas Spilled - 4m/sec Wind



Source: BAM

Figura 96 – Zona de peligrosidad tras una fuga de hidrógeno, metano o propano.

7. La energía necesaria para incendiar una mezcla de hidrógeno a bajas concentraciones (inferiores al 10%) es mayor que la energía necesaria para incendiar el gas natural o la gasolina en sus respectivos rangos de inflamabilidad. De modo que, en realidad, es más difícil incendiar hidrógeno si está cerca de su límite inferior de inflamabilidad.¹¹²

8. El hidrógeno se quema rápidamente si se produce ignición.
9. El hidrógeno no detona en una atmósfera abierta.
10. El hidrógeno no contamina suelos o aguas.
11. No es radiactivo
12. No es cancerígeno
13. El hidrógeno arde en concentraciones significativamente más bajas que el límite de detonación.

4.1.5. Normas básicas de seguridad

El mayor énfasis debe centrarse en la contención, detección y ventilación, debido a la mínima energía que necesita el hidrógeno gaseoso para incendiarse a presión atmosférica, alrededor de 0,02mJ y porque la experiencia muestra que el hidrógeno que

¹¹² Fact sheet series. Hydrogen Safety. www.HydrogenAssociation.org

se escapa se incendia muy fácilmente. Las pérdidas y las acumulaciones se producen a pesar de los mejores esfuerzos para contener el hidrógeno. El procedimiento seguro es eliminar todas las fuentes probables de ignición o situarlas lejos de las zonas de posibles escapes del hidrógeno. En el cuadro de la derecha se enumeran algunas de las fuentes de ignición más frecuentes durante un accidente.

Posibles fuentes de ignición de una mezcla de hidrógeno-aire

1. Chispas eléctricas.
2. Electricidad estática.
3. Chispas por fricción.
4. Chispas por impacto.
5. Objetos calientes.*
6. Llamas.

* Objetos a temperaturas desde 773 a 854 K pueden incendiar una mezcla de hidrógeno-aire o de hidrógeno-oxígeno a presión atmosférica. Objetos substancialmente más fríos, sobre 590 K, pueden incendiar las mezclas tras una exposición prolongada a presión menor que la atmosférica.

A continuación se enumeran una serie de normas básicas útiles para el manejo del hidrógeno con seguridad:

1. Respetar las distancias seguras en áreas donde se almacene hidrógeno o bien puedan producirse escapes.
2. Emplear donde corresponda materiales no combustibles.
3. Facilitar mediante diseño las vías de escape y de acceso en caso de emergencia.
4. Evitar la calefacción por medios directos.
5. Proveer suficiente ventilación para evitar acumulación de hidrógeno.
6. Las aberturas de ventilación se localizarán en techos o parte superior de paredes.
7. Utilizar extracción o ventilación forzada cuando puedan existir pérdidas de H₂.
8. Asegurar la renovación continua del aire de modo que las concentraciones de hidrógeno no permanezcan en rangos peligrosos bajo ninguna circunstancia.
9. Las instalaciones deben clasificarse en áreas de riesgo de acuerdo a estándares reconocidos.
10. Los dispositivos a instalar deben ser aprobados para trabajar en ambientes explosivos.
11. Prohibir todas las fuentes eléctricas de ignición en áreas clasificadas.

Equipamiento de seguridad

1. Sistemas de detección de H₂.
2. Arrestallamas
3. Sistema de alarmas remotas
4. Señalización de advertencia
5. Dispositivos de detección de fuego.

4.1.6. Selección de materiales

La integridad de los componentes dependerá de la estabilidad de los materiales en presencia de atmósferas de H₂. Por lo tanto, la elección de materiales es un punto esencial para el manejo seguro del hidrógeno.

El daño de materiales metálicos inducido por hidrógeno puede ocurrir a través de diferentes mecanismos, siendo los más relevantes: blistering, fragilización y ataque por hidrógeno.

Tabla 17 – Compatibilidad de los distintos materiales en sus aplicaciones en sistemas de hidrógeno.¹¹³

Summary of Material Compatibility for Hydrogen Service

Material	Service			Remarks
	GH ₂	LH ₂	SLH ₂	
Aluminum and its alloys	Yes	Yes	Yes	
Austenitic stainless steels with > 7% nickel (such as, 304, 304L, 308, 316, 321, 347)	Yes	Yes	Yes	Some make martensitic conversion if stressed above yield point at low temperature.
Carbon steels	Yes	No	No	Too brittle for cryogenic service.
Copper and its alloys (such as, brass, bronze, and copper-nickel)	Yes	Yes	Yes	
Gray, ductile, or cast iron	No	No	No	Not permitted for hydrogen service.
Low-alloy steels	Yes	No	No	Too brittle for cryogenic service.
Nickel and its alloys (such as, Inconel [®] and Monel [®])	No	Yes	Yes	Susceptible to hydrogen embrittlement
Nickel steels (such as, 2.25, 3.5, 5, and 9 % Ni)	No	No	No	Ductility lost at LH ₂ and SLH ₂ temperatures.
Titanium and its alloys	Yes	Yes	Yes	
Asbestos impregnated with Teflon [®]	Yes	Yes	Yes	Avoid use because of carcinogenic hazard.
Chloroprene rubber (Neoprene [®])	Yes	No	No	Too brittle for cryogenic service.
Dacron [®]	Yes	No	No	Too brittle for cryogenic service.
Fluorocarbon rubber (Viton [®])	Yes	No	No	Too brittle for cryogenic service.
Mylar [®]	Yes	No	No	Too brittle for cryogenic service.
Nitrile (Buna-N [®])	Yes	No	No	Too brittle for cryogenic service.
Polyamides (Nylon [®])	Yes	No	No	Too brittle for cryogenic service.
Polychlorotrifluoroethylene (Kel-F [®])	Yes	Yes	Yes	
Polytetrafluoroethylene (Teflon [®])	Yes	Yes	Yes	

Fuente: NASA

A continuación se presenta una tabla en la que se señala la posibilidad de uso de uno otro material dependiendo si se utiliza hidrógeno gaseoso, GH₂, hidrógeno líquido,

LH₂, o hidrógeno en el punto de cambio de fase líquido-gas, SLH₂.¹¹³ Sin embargo la adecuada selección de materiales no es garantía suficiente para la seguridad de las instalaciones.

4.1.7. Conclusiones

Existe una gran experiencia de casi cien años en la industria para el manejo y producción del hidrógeno. Sin embargo, las nuevas aplicaciones exigen nuevos desafíos ya que intervienen usuarios distintos

El hidrógeno ha sido utilizado ampliamente y a gran escala durante más de cien años, en una gran variedad de aplicaciones industriales. Por supuesto, ha habido incidentes con el hidrógeno, como los ha habido con el resto de los materiales peligrosos incluidos la gasolina, los gases licuados del petróleo y el gas natural. En general, sin embargo, la experiencia muestra que el hidrógeno puede ser manejado de forma segura en aplicaciones industriales siempre que se ajusten a los estándares apropiados, regulaciones y con la experiencia.

Sin embargo esta experiencia no incluye el uso del hidrógeno presiones extremadamente altas (más de 350 bar), como líquido criogénico o como hidruro. Todas estas tecnologías que tienen gran probabilidad de ser necesitadas en una hipotética economía del hidrógeno. La más importante, y sobre la que no hay precedente de uso seguro del hidrógeno, es el manejo del hidrógeno por parte de personas que no han recibido un entrenamiento estandarizado y profesional. Actualmente, el hidrógeno es manejado en industrias cuyos operarios reciben un entrenamiento e instrucciones sobre su seguridad, y las instalaciones de hidrógeno han sido objeto de un manejo seguro y profesional y son inspeccionadas por las autoridades. Será un reto desarrollar tecnologías y sistemas que puedan ser utilizados por consumidores generales.

El hidrógeno no es ni más ni menos peligroso que otros combustibles inflamables. De hecho, algunas de las diferencias del hidrógeno frente a otros combustibles proporcionan más seguridad que la gasolina u otros combustibles. Sin embargo, todos los combustibles inflamables tienen que ser manejados con responsabilidad. Al igual que la gasolina o el gas natural, el hidrógeno puede ser peligroso bajo determinadas circunstancias. Pero también puede ser manejado de forma segura si se siguen unas pautas, y los usuarios entienden su comportamiento.

¹¹³ Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen Systems. National Aeronautics and Space Administration (NASA).

Es importante recordar que el hidrógeno posee algunas propiedades que lo hacen muy peligroso. Si se subestiman los riesgos propios del manejo del hidrógeno se aumentará la probabilidad de que se produzcan accidentes.