



# UN BREVE RECORRIDO POR EL HIDRÓGENO

Mayo 2023

Dr. Jesus Ceballos



# Introducción

DEKRA Chile

- El hidrógeno se encuentra molecularmente presente casi en el 75% de los elementos que nos rodean, asociado con otros elementos y dando origen a diversas formas de presentación, como por ejemplo, en todas las fuentes de agua repartidas en la naturaleza. Esta característica de alta disponibilidad, sumada a sus grandes capacidades caloríficas, lo define como un buen combustible. Además, por ser medioambientalmente limpio, ya que produce una cantidad muy reducida de subproductos contaminantes en el proceso de producción o combustión, permite una amplia variedad de aplicaciones en un mundo que persigue la sostenibilidad.



# Hidrógeno

En qué consiste

Elemento químico de número atómico 1, masa atómica 1,007 y símbolo H ; es un gas incoloro, inodoro y muy reactivo que se halla en todos los componentes de la materia viva y en muchos minerales, siendo el elemento más abundante en el universo; se utiliza para soldaduras, en la síntesis de productos químicos, etc., y, por ser el gas menos pesado que existe, se ha usado para inflar globos y dirigibles, aunque arde fácilmente, por lo que se suele sustituir por helio.

“El compuesto más abundante e importante de hidrógeno es el agua (H<sub>2</sub>O)”.



Las propiedades del hidrógeno fueron descubiertas por el británico Cavendish y debe su nombre al francés Antoine Lavoisier. Este último descubrió que al aproximar una vela encendida cerca de una probeta con aire, se provocaba una llama (combustión) que daba origen a pequeñas gotas de agua sobre las paredes de la probeta. Es aquí el origen del nombre hidrógeno, proveniente del griego “hidro” que significa agua y “geno” que significa productor.

# Dependiendo de la forma que se obtenga

El hidrógeno se le nombra con distintos colores:

- Gris: Cuando se extrae de combustibles fósiles como el carbón, petróleo o gas.
- Azul: Se le denomina cuando el hidrógeno es producido con bajas emisiones de carbono, como cuando se realiza el mismo proceso que el del gris, pero se usa tecnología de captura o aprovechamiento de las emisiones.
- Verde: Cuando se obtiene utilizando energías renovables y produciendo cero emisiones, generalmente separando moléculas de agua.

El hidrógeno gris y azul, hoy en día son más baratos de producir y está más extendido su uso que el verde, el que representa un 4% de la producción total de hidrógeno actual, de casi 100 millones de toneladas. Sin embargo, con la disminución de costos de las energías renovables, se estima que esta brecha será cada vez más corta.

Una de las características más positivas del hidrógeno para su uso como combustible es su alta densidad energética, lo que implica que, en una baja cantidad de masa, guarda una gran cantidad de energía, siendo incluso más denso en este aspecto que combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural.



# Producción de Hidrógeno

El hidrógeno no es una fuente de energía primaria, y debe ser producido antes de su utilización.

Mundialmente, es producido en un 96% a partir de energías de origen fósil: un 49% a partir de gas natural, un 29% desde hidrocarburos líquidos y un 18% desde carbón. El restante 4% es producido a partir de la electrólisis del agua. Estos porcentajes, claramente, varían de región en región. Por ejemplo, en Europa, el porcentaje de hidrógeno producido por electrólisis alcanza el 12% del total de la producción.



# Tecnologías para la Producción de Hidrógeno

La producción del hidrógeno consiste en, básicamente, la extracción desde los compuestos fuente tales como: el agua, los hidrocarburos y la biomasa a través de operaciones físico-químicas que necesitan cierta cantidad de energía para su liberación. Actualmente, existen métodos de obtención de hidrógeno más desarrollados que otros. Unos se encuentran en etapa industrial y otros en etapa experimental.

## Electrólisis del agua

La electrólisis del agua es un método de obtención de hidrógeno no muy usado debido a que resulta al menos dos veces más caro que el hidrógeno obtenido por el reformado del gas natural [9]. Sin embargo, es de un gran interés ya que es un método bastante limpio y que podría ser usado como complemento para la energía producida por centrales solares y eólicas, y además, produce un hidrógeno de elevada pureza.

## Reformado con vapor

El proceso de reformado con vapor funciona preferentemente sobre hidrocarburos ligeros, es decir, con puntos de ebullición inferiores a 200°C, que deben ser limpiados de toda impureza (azufre, arsénico, halógenos, entre otros) antes de su procesamiento. La carga a utilizar puede ser gas natural, metano o gas licuado de petróleo. Básicamente, el proceso consiste en la exposición de la carga a vapor de agua a alta temperatura y a una presión moderada. Como resultado de la reacción química se obtiene fundamentalmente hidrógeno, monóxido y dióxido de carbono y otros compuestos. Estas reacciones ocurren generalmente a temperaturas comprendidas entre los 800 y 950°C con presiones entre 1,5 a 3,0 MPa.

# Tecnologías para la Producción de Hidrógeno

## Oxidación parcial

El hidrocarburo se mezcla con oxígeno o vapor de agua, se calientan, se mezclan y queman dentro del reactor a unos 1100°C. La eficiencia de este método es relativamente elevada, pero menos eficiente que el reformado por vapor debido a que opera a elevadas temperaturas y existe el problema de la recuperación del calor. Tiene unos costes de inversión y operación elevados si se opera con oxígeno puro. Sin embargo, el uso de aire en vez de vapor, y debido a que es una reacción exotérmica, hace que no se necesite aporte de energía externa durante el proceso.

## Reformado con vapor

El proceso de reformado con vapor funciona preferentemente sobre hidrocarburos ligeros, es decir, con puntos de ebullición inferiores a 200°C, que deben ser limpiados de toda impureza (azufre, arsénico, halógenos, entre otros) antes de su procesamiento. La carga a utilizar puede ser gas natural, metano o gas licuado de petróleo. Básicamente, el proceso consiste en la exposición de la carga a vapor de agua a alta temperatura y a una presión moderada. Como resultado de la reacción química se obtiene fundamentalmente hidrógeno, monóxido y dióxido de carbono y otros compuestos. Estas reacciones ocurren generalmente a temperaturas comprendidas entre los 800 y 950°C con presiones entre 1,5 a 3,0 MPa.

## Reformado autotérmico

Es una combinación de la oxidación parcial y la de reformado por vapor de forma conjunta. Con la correcta combinación de alimentación de entrada, el calor de reacción de la oxidación parcial es suficiente para que se dé la reacción de reformado por vapor. El hidrocarburo reacciona con el vapor de agua y con el aire para producir un gas rico en hidrógeno. Los inconvenientes que presenta este método tienen que ver con el tamaño de todo el equipo en conjunto debido a que requieren un sistema de recuperación del calor.



# Transporte, Almacenamiento del Hidrógeno

En la actualidad, generalmente el hidrógeno es producido en el mismo lugar donde se necesita. Sin embargo, en otras situaciones, este gas necesita ser trasladado de una zona a otra recorriendo distancias no menores. Además, el hidrógeno puede ser usado de diversas formas, por lo que es importante considerar cómo guardarlo y desplazarlo de un lugar a otro.

Es por ello que existen distintas formas de almacenar y transportar al hidrógeno, las que pueden ser clasificadas de acuerdo al estado físico del gas en cada situación: líquido, sólido o gaseoso; o bien, de acuerdo a la tecnología empleada para su respectivo desplazamiento.





# Transporte, Almacenamiento del Hidrógeno

## Transporte de Hidrógeno Gaseoso Comprimido

El volumen del estanque más grande para transporte de H<sub>2</sub> gaseoso es actualmente de 26 m<sup>3</sup>. Teniendo en cuenta su baja densidad a 500 bar, esto da como resultado una carga de alrededor de 1.100 kg de H<sub>2</sub> por transporte.

El hidrógeno gaseoso se puede transportar en volúmenes pequeños y medianos utilizando camiones especiales. Para transportar grandes volúmenes, se utilizan Tube Trailers, rack de cilindros de gas presurizados en skids agrupados dentro de un marco protector, generalmente de acero o materiales compuestos, los cuales se transportan en camiones de carga. Un solo Tube Trailer transporta aprox. 500 kg de H<sub>2</sub>, dependiendo de la presión y del material del contenedor.

## Transporte de Hidrógeno Líquido

Como una alternativa el hidrógeno puede transportarse como un líquido. En comparación con los estanques de gas a presión, se puede transportar más hidrógeno con un remolque de LH<sub>2</sub>, debido a la mayor densidad en comparación con el hidrógeno gaseoso. Sin embargo, la densidad del H<sub>2</sub> líquido es menor que la de otros combustibles líquidos (aprox. 800 kg/m<sup>3</sup>), por ende, solo se puede transportar una masa moderada de H<sub>2</sub>

Para largas distancias, generalmente es más rentable transportar hidrógeno en estado líquido, ya que un tanque para esto puede contener sustancialmente más hidrógeno que un tanque de gas presurizado.

## Transporte de Hidrógeno por Gasoductos Reformado autotérmico

Para mover H<sub>2</sub> gaseoso en grandes volúmenes, el transporte en tuberías es la opción más rentable. Sin embargo, este requiere una alta inversión inicial, la cual hace necesario que se compense con volúmenes correspondientemente grandes de hidrógeno.

Otra posibilidad para transportar y almacenar energía renovable en forma de hidrógeno es inyectarlo directamente en la red pública de gas natural.

# Transporte, Almacenamiento del Hidrógeno

## Almacenamiento en forma de Gas Presurizado

El almacenamiento de gas bajo presión presenta numerosas ventajas cuando la cantidad no sobrepasa las decenas de kilogramos. Una aplicación a esta forma es el caso de los vehículos donde el hidrógeno presurizado permitiría una autonomía cercana a los 450 km. Esto es posible mediante la utilización de 4 a 5 kg de hidrógeno en una pila a combustible.

El uso de nuevas tecnologías de tanques de almacenamiento mediante estructuras reforzadas con fibras de vidrio, fibras de aramida y fibras de carbono sobre acero, permite el almacenamiento de hidrógeno comprimido entre 350 y 700 bar. Los últimos desarrollos han mostrado la posibilidad de almacenar alrededor de 38 L de hidrógeno (unos 1,5 kilogramos) en tanques de masa entre 28 y 40 kg.

Actualmente, la compañía Quantum Technologies comercializa tanques cercanos a los 130 L y 92 kg que permiten almacenar y transportar 5 kg de H<sub>2</sub> a 700 bar.

## Almacenamiento en forma Criogénica

El almacenamiento en forma líquida permite obtener una masa específica elevada de 70,9 kg/m<sup>3</sup>. Esto se logra mediante la criogenización del hidrógeno, o dicho de otra forma, cambiar el estado del gas bajando considerablemente su temperatura (alrededor de 20K). Este se almacena en recipientes de doble aislación térmica que tienen como objetivo limitar los aportes de calor del exterior. Debido a la naturaleza del hidrógeno, una de las mayores dificultades consiste en la evaporación permanente, lo que se ve traducido en una pérdida en peso de aproximadamente un 0,5% por día.

## Almacenamiento en forma Sólida

Existen dos posibilidades de almacenar el hidrógeno en forma sólida: por un lado, existe la adsorción que puede ser realizada sobre carbón a 77 K y a 100 bar permitiendo almacenar dos veces más hidrógeno que el almacenamiento bajo presión, a la misma presión; y por el otro lado, es posible la absorción de hidrógeno que permite la combinación química reversible del hidrógeno con materiales metálicos.

# Aplicaciones

En la actualidad, las aplicaciones de hidrógeno son cada vez más variadas, diversificando las posibilidades de uso de este vector energético.

Las aplicaciones modernas y no tan modernas (amoníaco verde para fertilizantes, entre otras) permiten disminuir las emisiones de varios sectores, sobre todo de aquellos difíciles de electrificar, tales como, el sector marítimo y aéreo.

A continuación, podemos conocer algunos de ellos:

## Logística:

- 1. Grúa horquilla con celda de combustible – H<sub>2</sub>
- 2. Camiones mineros de alto tonelaje.

## En Transporte

Vehículos con celdas de combustible a hidrógeno.

## En la Industria Química:

1. Amoníaco (NH<sub>3</sub>)
2. Metanol (CH<sub>3</sub>OH)
3. Refinación de Petróleo.
4. E-fuels (electrocombustibles o combustibles sintéticos)
5. Peróxido de Hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

## Redes de Distribución Blending

El blending de gas natural e hidrógeno es la mezcla de ambos gases, los cuales son inyectados a las redes de gas natural.

La combustión de esta mezcla presenta la ventaja que al ser desplazado el gas natural por el hidrógeno, se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> y CO los que son productos de la reacción de combustión del gas natural.

La inyección a las redes actuales de gas natural, permiten abaratar los costos de inversión e impulsar la economía del hidrógeno.