

3.3 Distribución del hidrógeno

3.3.1 Introducción

El uso extendido del hidrógeno necesitará una amplia y nueva infraestructura para producir, distribuir, almacenar y dispensarlo con combustible de automoción o para la generación eléctrica. Dependiendo de la fuente a partir de la cual es producido el hidrógeno y la forma en la que es repartido, existen muchas infraestructuras alternativas.

La infraestructura del hidrógeno se puede definir en términos generales como las instalaciones y equipamientos necesarios para manufacturar y operar los vehículos impulsados por hidrógeno. Esto incluye la construcción y el mantenimiento de carreteras, equipos de mantenimiento, instalaciones de reparación, así como la producción y distribución del combustible.

El hidrógeno puede ser transportado como gas comprimido, como líquido criogénico o como sólido en un hidruro metálico. El método más económico de transporte dependerá de la cantidad y de la distancia transportada. El hidrógeno, actualmente, para uso industrial, se transporta como gas a baja presión (100-300 psig*) o a alta (3000-5000 psig) o como hidrógeno líquido, a través de gaseoductos o por carretera por vía de camiones cisterna y tanques criogénicos y una pequeña cantidad en barco o en ferrocarril.

Tanto la licuación como la compresión del hidrógeno tiene importantes necesidades energéticas, que influyen en el coste global de la distribución. Además, las estrategias de producción de hidrógeno afectan de forma importante al coste y al método de distribución. Por ejemplo, con el aumento de las distancias necesarias para centralizar la producción de hidrógeno los costes de distribución aumentan de forma significativa. Por el contrario, la producción distribuida en el punto de uso elimina los costes de transporte, pero aumenta los de producción ya que se pierde la economía de producción a gran escala.

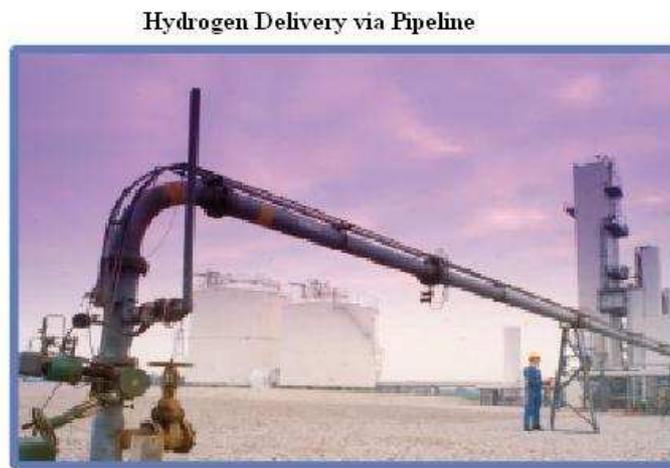
La tecnología que se seleccione para almacenar hidrógeno a bordo de los vehículos puede afectar al sistema de distribución del hidrógeno y a su infraestructura. Si en la aplicación se necesita hidrógeno líquido, el hidrógeno debe ser distribuido de forma licuada.

* 1bar = 14,5 psig

3.3.2 Transporte como Gas Comprimido

Gaseoductos

Cuando se transportan grandes volúmenes, la distribución por vía de gaseoductos es actualmente la opción más económica. Utilizar los gaseoductos de gas natural para distribuir hidrógeno es una opción que está siendo evaluada para reducir las inversiones necesarias. Puede ser posible mezclar hasta un 30% de hidrógeno con gas natural en los gaseoductos existentes de gas natural sin modificaciones en la infraestructura del gaseoducto. Este método necesitaría de un proceso de separación en el punto de consumo.



Source: DOE

Figura 69 – Gaseoducto de distribución de hidrógeno.

El hidrógeno es distribuido mediante gaseoductos en varias áreas industriales de los Estados Unidos, Canadá y Europa. Las presiones típicas de operación son 1-3MPa con flujos de 310-8900kg/h. Alemania tiene un gaseoducto 210 km que lleva en funcionamiento desde 1939, transportando 8900kg/h de hidrógeno a través de una tubería de 0,25m de diámetro a una presión de 2MPa. El gaseoducto más largo del mundo pertenece a la compañía Air Liquide y recorre 400 km desde el norte de Francia hasta Bélgica. Los Estados Unidos tiene más de 720 km de gaseoductos de hidrógeno.⁹⁴ Éstos son propiedad de los productores de hidrógeno y están limitados a unas pocas áreas de Estados Unidos, donde se concentran grandes refinerías y plantas químicas, como Indiana, California, Texas y Louisiana.

⁹⁴ Hart 1997; Zittel y Wurster 1996 ; Report to Congress 1995.



Gaseoductos de hidrógeno en Europa de Air Liquide

Figura 70 – Gaseoductos de hidrógeno en Europa propiedad de Air Liquide.

Por carretera

El gas comprimido puede ser transportado utilizando cilindros a alta presión, camiones cisterna o gaseoductos. Si el hidrógeno es transportado como gas, y debe ser comprimido a alta presión para maximizar la capacidad de los tanques.

Los cilindros de gas a alta presión llevan el gas comprimido hasta 40Mpa y almacenan alrededor de 1.8kg de hidrógeno, pero son muy costosos de manejar y transportar.⁹⁵

Compressed Hydrogen Delivered via Tractor Trailer



Source: DOE

Figura 71 – Camión de transporte de cilindros de hidrógeno comprimido.

Los camiones de tubos (tube trailers) consisten en varios cilindros de acero montados en un marco protector. Pueden ser configurados para transportar entre 63 y

⁹⁵ Enciclopedia of Chemical Technology 1991.

460kg de hidrógeno, dependiendo del número de tubos. Las presiones de operación son 20-60 Mpa.⁹⁶

3.3.3 Transporte como Hidrógeno Líquido

Por carretera

La licuación del hidrógeno es económicamente viable cuando los volúmenes necesitados son pequeños. El hidrógeno líquido es transportado usando tanques de doble pared aislados para prevenir la evaporación flash del hidrógeno líquido. Algunos tanques utilizan un escudo de nitrógeno líquido para enfriar la pared exterior del contenedor de hidrógeno líquido para minimizar la transferencia de calor.

Los camiones cisterna pueden transportar 360-4300 kg de hidrógeno líquido. Los vagones tienen mayores capacidades, transportando entre 2900-9100 kg de hidrógeno. Las tasas de evaporación flash en los camiones es de entre 0,3-0,6%/día.

Por mar

Las barcasas y los buques de altura también son considerados para el transporte del hidrógeno a largas distancias. La evaporación flash en los buques se estima de 0,2-0,4%/día. Canadá ha desarrollado el diseño de algunos barcos para el transporte trasatlántico de hidrógeno. Ninguno de estos barcos se ha construido.

Gaseoductos

Otra idea para el transporte de hidrógeno líquido es a través de gaseoducto aislado que también incluiría un cable superconductor. El hidrógeno líquido actuaría como refrigerante para el superconductor y permitiría el transporte de la electricidad a largas distancias sin las altas pérdidas actuales de las líneas de potencia actuales. El principal problema con el transporte de hidrógeno líquido sería la especialización en las necesidades de aislamiento y las pérdidas de bombeo y re-enfriamiento del hidrógeno líquido durante el camino.⁹⁷

⁹⁶ Air Products 1997.

⁹⁷ Timmerhaus y Flynn 1989

3.3.4 Transporte en Hidruros Metálicos

Los hidruros metálicos pueden ser utilizados para el transporte por la absorción del hidrógeno con un metal hidruro y después cargando el contenedor en un camión para transportarlo hasta el lugar de consumo donde se puede cambiar por un contenedor de metal hidruro vacío o usarlo como un tanque convencional.⁹⁸

3.3.5 Consideraciones sobre los métodos de transporte

Ninguna de las distintas formas de transporte es mejor que el resto. Dependiendo de la cantidad transportada y de la distancia desde el punto de producción y el punto de consumo unas formas serán más o menos convenientes. La aplicación posterior que va a tener el hidrógeno también debe ser considerada, es decir, si en la aplicación se necesita hidrógeno líquido, el hidrógeno debe ser distribuido en forma líquida.

Cantidad

Para grandes cantidades de hidrógeno, la distribución por gaseoductos es la más económica de todos los métodos*. El siguiente método sería por carretera en forma de hidrógeno líquido. La distribución en gaseoductos tiene la ventaja de tener unos costes de operación muy bajos, que consisten fundamentalmente los costes de operación del compresor, pero tiene unos costes de inversión muy elevados. El hidrógeno líquido, por el contrario, tiene unos altos costes de operación, pero unos costes de capital menores, dependiendo de la cantidad de hidrógeno y de la distancia de distribución. El punto de cubrición de gastos entre el hidrógeno líquido y los gaseoductos variará dependiendo de la distancia y de la cantidad.

Para pequeñas cantidades de hidrógeno, la distribución por gaseoductos no es competitiva, mientras que la distribución como gas comprimido puede serlo. Comparado con el hidrógeno líquido, el gas comprimido tiene menos necesidades eléctricas y unos costes de capital algo menores para los camiones cisterna, pero se necesitan más camiones cisterna para distribuir la misma cantidad de hidrógeno. Qué método resulta más rentable depende de la distancia, ya que si es una distancia pequeña, se podría utilizar un único camión que hiciese varios viajes de ida y vuelta al día.

Para cantidades aún más pequeñas, los altos costes de capital de los gaseoductos eliminan esta opción. El factor decisivo entre hidrógeno líquido y comprimido se

⁹⁸ Huston 1984

* Excepto en el caso de transporte a través de un océano, en cuyo caso el transporte por barco en forma de hidrógeno líquido sería la más barata

convierte en una cuestión de distancia. Para largas distancias, los altos costes energéticos de la licuación del hidrógeno pueden compensarse con los mayores costes de capital y transporte de muchos camiones cisternas haciendo viajes de ida y vuelta. Si la distancia es relativamente pequeña, y la cantidad de hidrógeno es pequeña, el gas comprimido puede ser la opción más acertada.

Los costes de transporte como hidruros metálicos tienden a caer entre los del transporte en forma de hidrógeno líquido y como gas comprimido. Mientras que el transporte como hidruros metálicos tiene unos altos costes de capital por camión, la capacidad de transportar hidrógeno por camión es mayor comparada con el transporte en gas comprimido.

Distancia

Tal y como ya hemos comentado, la distancia es un factor muy importante. Para cortas distancias los gaseoductos pueden resultar económicos porque los costes de capital de un gaseoducto corto pueden asemejarse a los costes de capital de un camión o tanque, y no tiene costes de transporte ni de licuación. A medida que la distancia aumenta, los costes de capital de los gaseoductos aumentan rápidamente, en este punto hay que fijarse en la cantidad a transportar dependerá de la cantidad donde los gaseoductos de hidrógeno estarán favorecidos por grandes cantidades de hidrógeno. Para pequeñas cantidades de hidrógeno, en un punto los costes de capital de los gaseoductos serán mayores que los costes de operación asociados a la distribución y licuación del hidrógeno.

La distancia es un factor decisivo entre el hidrógeno líquido y gaseoso. Para largas distancias, el número de camiones necesarios para transportar una cantidad dada de hidrógeno comprimido será mucho mayor que los mayores costes de gasto de energía asociados a la licuación y los menores camiones.

La distribución a alta presión por medio de camiones tienen un rango de actuación de 100 a 300 kilómetros desde las instalaciones de producción. Para distancias mayores, hasta 1300 kilómetros, el hidrógeno normalmente se transporta de forma líquida mediante camiones cisterna criogénicos y con un gran aislamiento, o en vagones o en barco, y después se vaporiza en el lugar de consumo.

3.3.6 Generación distribuida

La generación distribuida se presenta como otra posibilidad a la distribución. En este caso los gastos de producción son mucho mayores que en el caso de una producción centralizada, sin embargo los gastos de transporte se reducen considerablemente llegando a anularse si la producción se realiza en el mismo punto de consumo, como podría ser el uso de células de combustible en viviendas domésticas.

Las distintas tecnologías de generación distribuida, tales como microturbinas a gas, celdas de combustible, microturbinas hidráulicas, celdas fotovoltaicas y generadores eólicos, han tenido un desarrollo sostenido en los últimos años, constituyéndose como alternativas reales a los sistemas de generación tradicionales. Si bien la introducción masiva de generación distribuida aún no es una realidad en ningún sistema a escala mundial, existe un proceso de creciente discusión sobre el tema.

3.3.7 Conclusiones

La elección de los métodos de distribución se podría resumir a grandes rasgos de la siguiente forma:

- Gaseoducto: para grandes cantidades.
- Hidrógeno líquido: para grandes distancias.
- Hidrógeno comprimido: para pequeñas cantidades y distancias cortas.
- Hidruros metálicos: para cortas distancias.

Y las barreras que tiene que superar la distribución de hidrógeno se podría resumir como se enumera a continuación:

- Disminuir el alto coste de la compresión de hidrógeno.
- Disminuir el alto coste de la licuación de hidrógeno.
- Dar una solución al alto coste de capital de los gaseoductos.
- Mejorar las tecnologías relacionadas con los portadores sólidos y líquidos de hidrógeno. Las tecnologías actuales de transporte de hidrógeno en portadores sólidos o líquidos, tienen un coste elevado, no tienen la suficiente densidad energética y tienen una pobre liberación o almacenaje del hidrógeno. Se necesita nueva tecnología.
- Disminuir los elevados costes del almacenamiento en el transporte.

Las tecnologías utilizadas en el transporte del hidrógeno pueden ir evolucionando entre el medio y el largo plazo. Los métodos utilizados en las primeras

etapas, cuando los volúmenes son relativamente bajos, pueden ser diferentes de aquellos que se usen cuando el hidrógeno esté establecido y se use en grandes cantidades como primer portador de energía. En grandes volúmenes, una extensa infraestructura de gaseoductos será probablemente la manera más rentable económicamente para distribuir hidrógeno. Se necesitan precios más reducidos y unas tecnologías energéticamente más eficientes para transportar y manipular el hidrógeno. La producción y la distribución deberían estar integrados para minimizar los costes.

Se está realizando una investigación continua en el transporte a larga distancia usando buques. Canadá está especialmente interesada porque tiene grandes recursos hidroeléctricos que podría utilizar para producir hidrógeno. Otra opción que se tiene en cuenta es el transporte vía aérea para transportar hidrógeno a largas distancias y al reducir los tiempos de transporte reducir las pérdidas por evaporación flash. Se ha marcado como prioridad reducir las pérdidas de transferencia durante el transporte del hidrógeno.

Con la tecnología e infraestructuras disponibles los costes de distribución de hidrógeno son excesivamente elevados actualmente como para que el hidrógeno sea un portador de energía primaria competitivo.