

HIDROGENERA EXPO ZARAGOZA

EXPO ZARAGOZA HYDROGEN FILLING STATION

Recibido: 11/11/08

Aceptado: 17/11/08

Pablo Marcuello Fernández
Ingeniero Químico
Fundación para el Desarrollo
de las Nuevas Tecnologías del
Hidrógeno en Aragón

Leire Romero Elu
Ingeniero Químico
Fundación para el Desarrollo
de las Nuevas Tecnologías del
Hidrógeno en Aragón

1. INTRODUCCIÓN

Desde el pasado 14 de junio, una estación de repostaje de hidrógeno (o hidrogenera), la primera de servicio público en España, está en funcionamiento en Zaragoza con motivo de la reciente celebración de la *Exposición Internacional Zaragoza EXPO-2008*. Dentro de la temática principal de la muestra, "Agua y Desarrollo Sostenible", la sociedad **Expoagua**, gestor de todas las instalaciones durante la EXPO, ha sido el promotor de este proyecto, cuyo principal objetivo es la creación de una infraestructura adecuada para la implantación de vehículos propulsados por combustibles alternativos y sostenibles, como es el hidrógeno, de emisiones cero.

Asimismo, el proyecto ha sido apoyado conjuntamente por el *Departamento de Industria del Gobierno de Aragón* y la **Fundación para el Desarrollo de las Nuevas Tecnologías del Hidrógeno en Aragón**. De esta manera, se continúa con el trabajo que se está realizando en la Comunidad Autónoma de Aragón desde el año 2004 para el desarrollo de las tecnologías relacionadas con el hidrógeno y las energías renovables.

El papel desempeñado por la Fundación del Hidrógeno de Aragón en la fase inicial del proyecto fue muy importante, participando activamente en la concepción, evaluación y seguimiento del proyecto. En primer lugar, se evaluaron las características de diseño y operación de la todavía escasa red de hidrogeneras en todo el mundo, para la determinación del pliego

de especificaciones de operación de la instalación. Paralelamente, se realizó un análisis de la flota de vehículos de pila de combustible disponible en el mercado y que se ajustara a las condiciones de operación de la hidrogenera. Por último, la Fundación del Hidrógeno de Aragón ha tenido un papel de asesor técnico tanto en el desarrollo del proyecto como en la elección de algunos equipos de la instalación.

Finalmente, el proyecto fue sacado a concurso público por la sociedad pública **Expoagua**, el cual fue ganado por la empresa **Carbueros Metálicos**, que se ha encargado de la construcción y mantenimiento de la hidrogenera. La empresa de ingeniería y consultoría **Idom** se hizo cargo de la gestión y ejecución del proyecto, mientras que la empresa de estaciones de servicio **Zoilo Ríos** es la encargada de la explotación de la hidrogenera.

2. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

Los principales sistemas en los que puede ser dividida la hidrogenera son la producción y purificación de hidrógeno, compresión, almacenamiento de gas a presión y dispensación de hidrógeno. Asimismo, se detallarán las características principales de los equipos y de la flota de vehículos durante la EXPO [1]. La energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de todos los equipos de la instalación proviene de origen reno-

vable, eólica y solar fotovoltaica, con lo que el proyecto adquiere un carácter global sostenible.

2.1 PRODUCCIÓN Y PURIFICACIÓN

El hidrógeno es producido *on-site* en la instalación por medio del proceso de electrólisis del agua. En dicho proceso, el agua es separada por medio de una corriente eléctrica en sus componentes, hidrógeno y oxígeno, donde el hidrógeno es transportado hacia la siguiente fase para su purificación, y la producción de oxígeno es venteadada a la atmósfera.

El electrolizador utilizado es de la marca **IDROENERGY PT 19.0** (fig.1), de tipo alcalino donde la disolución es de hidróxido potásico (KOH) con un porcentaje cercano al 30% en peso. La temperatura de operación del electrolizador es de 55°C con una presión de descarga de hidrógeno de 8 bar. Para el proceso de electrólisis, el caudal de agua que se introduce en el electrolizador, con un máximo de 10 l/h, debe tener una cierta pureza, por lo que previamente tiene que pasar por una unidad de pretratamiento de agua. El electrolizador, con un consumo eléctrico de 67 KW, produce unos 12 Nm³/h, con lo que la producción diaria estimada es de 25 Kg. La pureza del hidrógeno que se produce es del 99.5%, que resulta insufi-



Fig.1 Electrolizador alcalino Idroenergy

ciente con las especificaciones, que marcan una pureza superior al 99.99% para la utilización de hidrógeno en una pila de combustible.

El proceso de purificación se lleva a cabo en la unidad de la marca **Idro-energy** PF810 (fig.2), que elimina las impurezas que contiene la corriente hasta aumentar la pureza de hidrógeno en el 99.999% (< 5 ppm de oxígeno). Las impurezas que se deben eliminar son oxígeno y vapor de agua.

En primer lugar, se elimina el contenido en oxígeno haciendo pasar la corriente por una torre que contiene un lecho de catalizador, en el cual se produce la reacción del oxígeno con parte del hidrógeno que da como resultado la formación de vapor de agua y un ligero aumento de la temperatura. En la reacción de eliminación del oxígeno no se produce ningún tipo de deposición ni impureza, con lo que el catalizador no necesita regenerarse.

Posteriormente, se elimina el contenido de vapor de agua de la corriente, tanto la que se ha generado al eliminar el oxígeno como la que ha salido del electrolizador. Para ello se cuenta con dos torres rellenas de partículas de desecante que operan en paralelo. Al pasar la corriente por la torre, el agua queda adsorbida en el lecho de partículas, quedando la corriente de hidrógeno con la pureza indicada para la utilización en las pilas de combustible. En este caso, la capacidad de adsorción de la torre de desecante es limitada, es decir, cuando el contenido de agua en una torre llega a un cierto valor, se considera que la torre se encuentra saturada (no puede adsorber más agua), con lo que de una manera automática la corriente de hidrógeno se deriva hacia la otra torre (que se encuentra libre de agua) y la torre que está saturada comienza su proceso de regeneración. Por lo tanto, las torres de desecante deben tener una operación en paralelo, una torre está trabajando (adsorbiendo el vapor de agua) y la otra se está regenerando (desorbiendo el vapor de agua). El proceso de regeneración de la torre se realiza pasando nitrógeno gas a 2 bar y con

un caudal de 2 Nm³/h, durante un tiempo aproximado de 21 h.



Fig.2 Unidad de purificación IDROENERGY

2.2 COMPRESIÓN

El proceso de compresión se realiza en un compresor de membrana de la empresa **PdC Machines** (fig.3), que aumenta la presión desde la salida del electrolizador a 8 bar hasta una presión de 420 bar.



Fig. 3 Compresor de PdC Machines

El salto de presiones se realiza en 2 etapas, siendo la presión intermedia de unos 40 bar, con el fin de no aumentar de una manera importante la temperatura de la corriente de hidrógeno, que experimenta unos incrementos de temperatura más acusados cuando el gradiente de presión se encuentra a presiones bajas (fig.4).

Después de cada etapa de compresión se debe refrigerar la corriente de hidrógeno para evitar que se alcancen temperaturas elevadas, utilizando un sistema de refrigeración en circuito cerrado. Por otra parte, para evitar que la corriente de hidrógeno pueda ser impurificada en su paso

por la etapa de compresión, el compresor debe estar libre de aceite para la lubricación de las partes mecánicas en la zona correspondiente al hidrógeno. En la estructura sobre la que se encuentra fijado el compresor, se encuentra toda la valvulería que distribuye de manera automática el hidrógeno hacia la zona de almacenamiento o hacia el dispensador en el momento de realizar un repostado. La cantidad máxima de hidrógeno que se puede comprimir es de 46 Nm³/h, requiriendo una potencia de 30 CV.

Entre el sistema de purificación y el compresor está situado un pequeño depósito de 100 litros de capacidad a una presión máxima de 8 bar, con el objetivo de amortiguar las posibles variaciones de caudal que se produzcan en el electrolizador y asegurar un caudal constante a la entrada del compresor para un funcionamiento óptimo del mismo.

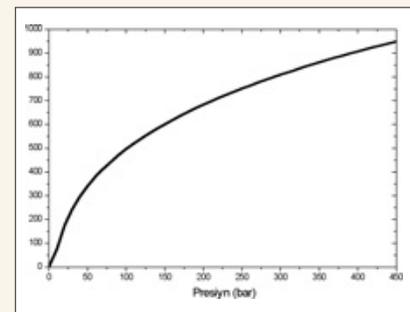


Fig. 4 Diagrama P-T para el H2 (datos y gráfica calculados por el programa de simulación Aspen Hysys)

2.3 ALMACENAMIENTO GAS A PRESIÓN

2.3.1.- Almacenamiento de hidrógeno a presión

El almacenamiento de hidrógeno a alta presión queda definido por un sistema en cascada de tres etapas (tres bloques con 12 botellas cada bloque) con una presión máxima de 420 bar y una cantidad de hidrógeno almacenada de unos 80 Kg (fig.5).

Para la operación del almacenamiento a presión, las tres etapas se diferencian entre las de alta, media y baja presión. Sin embargo, esta dife-



Fig.5 Almacenamiento en cascada de tres etapas

renciación hace referencia únicamente al modo de operación en la cascada, y no a la presión máxima a la que pueda ser almacenada cada etapa, que en los tres casos será la máxima fijada de 420 bar.

Por lo tanto, para la realización de un llenado (por medio de la diferencia de presión entre la cascada y el vehículo), el orden de operación de las etapas de la cascada será de la de baja a la de alta presión. De esta forma, es la etapa de baja y media presión la que realiza el mayor aporte de hidrógeno durante el repostado, dejándose la etapa de alta presión que entre en funcionamiento para que aporte el último gradiente de presión y que se alcance la presión final de llenado.

Por otra parte, si se quiere realizar una recarga de la cascada después de haber realizado un llenado, el orden de operación de las etapas será desde la de alta a la de baja presión. De este modo, se comienza a repostar por la etapa que se encuentra a una presión mayor, teniendo la mayor cantidad de hidrógeno a la presión más alta posible si se requiere realizar un repostado.

2.3.2.- Almacenamiento de respaldo de hidrógeno

La instalación cuenta con un espacio habilitado para la colocación de dos plataformas de botellas de hidrógeno gas a 200 bar (fig. 6), que pueden entrar en funcionamiento en el caso de que el electrolizador sufra una parada o que la producción del

mismo no sea suficiente para abastecer la demanda existente.

2.3.3.- Almacenamiento de nitrógeno

La instalación dispone de 4 bloques para el almacenamiento de nitrógeno a 200 bar, con el objetivo de poder realizar una operación segura de todos los equipos e instalaciones que trabajen con hidrógeno. Además, como se ha comentado anteriormente, el nitrógeno es usado en la unidad de purificación para la regeneración de las torres de secado, lo que supone el mayor gasto en el consumo de nitrógeno.

En puestas en marcha de equipos, se debe pasar nitrógeno por el interior de los mismos hasta reducir el contenido en oxígeno por debajo del 1%, para que tener una operación segura en el momento de la introducción de la corriente de hidrógeno. Del mismo modo, si se quiere realizar una parada de mantenimiento en equipos que están en operación con hidrógeno, se pasa nitrógeno para reducir el contenido de hidrógeno hasta niveles que permitan una operación segura de mantenimiento.

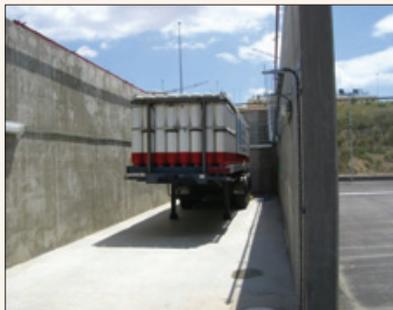


Fig.6 Zona habilitada para las plataformas de suministro externo de hidrógeno

2.4 Dispensación de hidrógeno

El dispensador de hidrógeno representa el punto final de la instalación, que conecta la instalación con el vehículo. El dispensador, de la marca **Air Products** (fig.7), está habilitado para realizar llenados rápidos a presiones de 200 y 350 bar, que son las presiones de suministro de la flota de

vehículos que han estado en funcionamiento durante la EXPO.



Fig.7 Dispensador de hidrógeno de Air Products

2.5 Flota de vehículos

Las dos opciones que se contemplan en la actualidad para la utilización de hidrógeno como combustible en automoción son la pila de combustible, donde se produce la reacción del hidrógeno con el oxígeno del aire para producir electricidad y vapor de agua, o la combustión de hidrógeno en un motor de combustión actual, que se debe modificar y adecuar para una correcta operación con hidrógeno.

En el caso de la EXPO, la flota de vehículos durante la muestra la forman vehículos híbridos con pila de combustible, 3 MidiBus de **Hydrogenics** (fig.8) y 1 autobús de **Vanhook** (fig.9).

Los minibuses tienen una pila de combustible de 10 KW y una capacidad para 22 personas, con una autonomía de 200 Km (equivalente a 10 h en ciudad). La presión de suministro es de 200 bar y el depósito tiene una capacidad de 6 Kg. Estos minibuses, que se utilizaron para el transporte de comitivas VIP que acudieron a la EXPO, fueron comprados por **Expo-gua**, y tras la finalización de la muestra han pasado a ser propiedad del *Ayuntamiento de Zaragoza*.

Por su parte, el autobús Vanhook, con una pila de combustible de 120 KW, posee una autonomía de 350 Km (equivalente a 18 h en ciudad). En este caso, la presión de suministro es de 350 bar y la capacidad de almace-



Fig. 8 MidiBus Hydrogenics

namiento del tanque es de 38 Kg. El autobús ha estado en funcionamiento durante la EXPO gracias a un acuerdo de cesión, y se ha utilizado como vehículo lanzadera, con una capacidad para 100 personas, entre la estación intermodal de Zaragoza y el recinto EXPO.



Fig.9 Autobús Vanhool repostando en la hidrogenera

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La hidrogenera ha tenido una operación de forma continuada desde el primer día, sin sufrir paradas debidas a problemas en la operación de los equipos o por mantenimiento de los mismos. Además, los repostados a los vehículos se han realizado de manera satisfactoria en todos los casos, manteniendo en todo momento las medidas de seguridad necesarias. Por otra parte, los vehículos han presentado una gran fiabilidad durante su funcionamiento, sin presentar problemas de operación reseñables. Durante los tres meses que ha durado la muestra, la flota de vehículos ha completado un total de 10000 Km recorridos y 60000 pasajeros transpor-

tados. Los resultados de operación de la hidrogenera deben ser analizados antes de hacer una valoración sobre la instalación, rendimiento de los equipos o evaluación de costes.

Los principales objetivos del proyecto se han alcanzado, ya que se ha demostrado que las tecnologías del hidrógeno, y en concreto un sistema de transporte basado en vehículos de pila de combustible, son viables como sustitución a medio plazo del actual sistema de transporte basado en los combustibles fósiles. El principal inconveniente sería la falta de infraestructura para la distribución de hidrógeno y de una red de hidrogeneras más extensa donde los vehículos puedan repostar.

Por otra parte, se ha conseguido que la gente se familiarice con este tipo de tecnología, habituándose a observar por las calles de la ciudad de Zaragoza a vehículos propulsados por hidrógeno, silenciosos y respetuosos con el medio ambiente, y perdiendo el recelo que despierta la entrada y desarrollo de esta nueva tecnología en la sociedad actual.

Desde la **Fundación del Hidrógeno de Aragón** se ha cumplido con uno de los objetivos del *Plan Director del Hidrógeno en Aragón*, posicionando a Zaragoza, y por ende a Aragón, en una situación privilegiada para la futura implantación de la conocida como *"Autopista del Hidrógeno"* (enmarcada dentro del proyecto europeo *HyWays*), aprovechando la excelente posición que dispone Zaragoza como centro de comunicaciones entre las ciudades más importantes de España. Por otra parte, se ha asegurado que el proyecto tenga una proyección de futuro, que asegure la continua mejora y utilidad de la hidrogenera durante los próximos 8 años, apoyándose en el gran apoyo que las autoridades locales y autonómicas tienen en el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno.

Por último, la Fundación del Hidrógeno de Aragón se ha encargado de transmitir el alcance del proyecto en el panorama internacional, participando en los trabajos que está llevando la *Agencia Internacional de la*

Energía en la *Task 18 "Integrated Systems – Demonstration Project Evaluation"*, posicionando a la hidrogenera de Zaragoza como una de las cuatro hidrogeneras de todo el mundo que van a ser sometidas a estudio. Por su parte, **Expoagua** ha ejercido un papel muy importante en la difusión de la hidrogenera, gracias al excelente marco que ha proporcionado la Exposición Internacional, participando activamente en todos los actos de promoción y difusión de la hidrogenera.

4. BIBLIOGRAFÍA

[1] Montaner Izcue P. "Montaje de una hidrogenera: Experiencia práctica Expo Zaragoza 2008". *Diploma de Especialización en Tecnologías del Hidrógeno y Pilas de Combustible*. Título propio Universidad de Zaragoza. 25-03-2008. ■