

5. Análisis de resultados y conclusiones.

Es evidente que el sistema energético mundial actual no es sustentable en relación a las emisiones que se tienen de gases de efecto invernadero; de manera que analizando las características del hidrógeno como vector energético, éste resulta una buena opción al mediano y largo plazo.

En este trabajo se realizó una breve descripción del progreso de la tecnología de reactores nucleares, así como los reactores nucleares más representativos de su tipo, aunque existen mucho más diseños, con ciertas variantes, tanto de reactores de agua ligera, reactores de altas temperaturas enfriados por gas, etc. De tal forma que, comparando las características propias de cada tipo de reactor, se determinaron las ventajas que presentan aquellos de cuarta generación (VHTGR), colocándolos como los óptimos para ser acoplados a una planta de producción de hidrógeno a gran escala centralizada; así como sus posibilidades de introducción en el mercado mundial.

De todos los procesos por medio de los cuales es posible obtener hidrógeno, aquellos en los que se emplean altas temperaturas resultan ser los más prometedores, en primer lugar, debido a las grandes capacidades de producción de que son capaces; situación que compensa en gran medida elevados los costos de inversión, si se comparan con plantas de producción de menor escala, y en segundo lugar, debido a la factibilidad de satisfacer los requerimientos energéticos de dichos métodos con la capacidad de los reactores de cuarta generación.

La planeación para los sistemas de suministro energético requiere de toma de decisiones en varias etapas; casi siempre basadas en un aspecto económico como el rubro de mayor jerarquía entre las distintas opciones. En el caso del hidrógeno, así como en prácticamente cualquier producto, este problema relaciona el costo de obtenerlo, y las ganancias que se obtienen de su venta. Esta relación es determinante en cuanto a la factibilidad de dicho producto. Ya que el hidrógeno es un producto cuya necesidad es evidente, el debate se centra en el medio por el cual se obtenga y el costo que éste represente.

Se han esclarecido mitos generalizados dentro de la población mexicana concernientes a la seguridad de las centrales nucleares; en las que estadísticamente se tienen menos accidentes de trabajo que en cualquier otro tipo de planta de generación eléctrica, y es necesario concientizar sobre las características y ventajas que ofrece este tipo de obtención de energía, además de sus desventajas y posibles riesgos, de manera que se eviten lo más posible problemas sociales en el momento de construir nuevas plantas.

El problema de usar carbón para la producción de hidrógeno, así como de cualquier otro tipo de combustible fósil, es que se tienen grandes emisiones de GEI's, y podría pensarse que al utilizar hidrógeno se tiene un combustible limpio, pero debe considerarse también su origen y los contaminantes generados para su obtención. Produciendo hidrógeno a partir de carbón resulta en casi tres veces más emisiones de CO_2 que a partir de gas natural; bajo este contexto, la energía nuclear representa claramente una alternativa de generación eléctrica sustentable, aunque deben favorecerse incentivos económicos para que pueda tener un mayor atractivo, especialmente en el caso de México, ya que en un escenario en el que se cuente con más plantas nucleares ayudaría enormemente a reducir el déficit de la balanza comercial y la fuerte dependencia que se tiene del gas natural.

A pesar de que el escenario más pragmático de producción de hidrógeno es aquel en el que se tenga una red interconectada en la que una parte de la demanda energética sea cubierta por plantas centralizadas de producción a gran escala, y los mismos usuarios sean capaces de proveer mediante generación distribuida otra parte de dicha demanda, esto se planea para un futuro “lejano”, y la transición a este escenario no es sostenible con la utilización de combustibles fósiles. Un primer paso obligado es la introducción de sistemas de producción acoplados a centrales nucleares; en primer lugar, debido a las enormes capacidades de producción y el impacto favorable que esto puede llevar en poblaciones de alta densidad. Es probable que debido a los bajos costos de inversión de las celdas de combustible, éstas se popularicen a la par con las formas de producción de hidrógeno a altas temperaturas, y conforme esto pase los costos sufrirán una merma gradual.

En cuanto al análisis de casos, una suposición inicial fue que el proceso SI, a pesar de tener varias ventajas competitivas frente a otros tipos de generación de hidrógeno, tenía muchas dificultades técnicas que lo colocaban en una situación de desventaja, como la etapa de separación del ácido yodhídrico, y las grandes cantidades de yodo necesarias para completar el ciclo. Ambos problemas pueden ser resueltos, ya sea al optimizar los coeficientes estequiométricos de las reacciones o al emplear dos reacciones químicas más, mediante las cuales se forman óxidos no metálicos fácilmente separables que dejan de lado la necesidad de emplear reactores extractivos, bajando el costo capital de la H2GP, las cantidades de yodo requeridas y la energía térmica suministrada. Asimismo, se espera que para las fechas en las que se estima que los reactores de cuarta generación se inserten en el mercado, la cantidad de yodo producida anualmente se haya incrementado significativamente y sea capaz de cubrir la demanda para el caso en el que se opte por producir hidrógeno con el proceso S-I.

En relación a los materiales requeridos para llevar a cabo el ciclo, así como el helio necesario tanto para el enfriamiento de los reactores y el intercambio de calor entre los mismos y la planta de producción de hidrógeno; el químico que tiene un mayor impacto en el costo nivelado de producción de hidrógeno es el yodo. Suponiendo que el ciclo S-I se lleve a cabo de la manera tradicional, el CNPH sólo se incrementa en promedio 12 centavos de dólar para el caso que el costo del yodo suba en 100% respecto al costo actual, de manera que, independientemente de la cantidad de H_2 producida, el costo del yodo no repercute en gran medida.

Primero se optó por considerar los costos por materiales a precios actuales como parte del costo capital de la planta nuclear, en el caso del helio, y de la planta de producción de hidrógeno, para el caso del H_2SO_4 y del yodo, pero éstos hubieran representado más del 30 % del costo capital de cada planta. Posteriormente se añadió el costo de los materiales como extra al costo capital ya existente en cada planta; pasando a formar parte del 26.28% (A), 19.35 % (B) y 36.8% (Base), que sigue siendo demasiado elevado, pero aun variando el costo del mismo hasta en un 100% para cada caso, el mayor aumento que se tuvo fue de 12 centavos de dólar, y de 0.254 por considerarlo como costo extra al costo capital específico de la planta del caso base; evidentemente porque requiere una mayor cantidad de yodo. Manteniendo proporciones similares de producción de hidrógeno/costo capital de la planta, la aportación al CNPH por parte de la misma tampoco se ve afectada en gran medida.

Es evidente que el producir menos H_2 incrementa el CNPH, a pesar de que baje el costo capital de cada tipo de planta. Aún cuando la producción en la planta denominada B es menor a la mitad de

la producción de la planta A, el CNPH es muy similar y su comportamiento es prácticamente el mismo en función del precio del yodo.

La posible repercusión que tuviera el H_2SO_4 , es similar a la del yodo en cuanto a que el precio por el total de químico requerido se introduce como parte del costo capital, pero éste, a pesar de ser más barato (24 [\$/Kg] frente a los 74.73 [\$/ton] del H_2SO_4), únicamente 100 toneladas son necesarias, por lo que el incremento al CNPH es despreciable.

La variación en la tasa de interés entre el 5 y el 10% influye en la aportación al costo nivelado de producción de hidrógeno en la NPP y en la H2GP de 5 y 24 centavos respectivamente; por lo que este factor tampoco es un impedimento en la planeación si se eleva respecto a los parámetros tradicionales. En el caso en que se utilice una tasa de interés del 30%, el CNPH se incrementa en total 52 [¢/Kg], suponiendo que el costo por transporte del hidrógeno se mantenga constante.

La mayor sensibilidad en el CNPH ocurre respecto a la tasa de descuento empleada; el uso de una tasa igual a la que utiliza CFE trae consigo un CNPH total de 8.12 [\$/Kg], que a pesar de seguir siendo competitivo, puede marcar la diferencia entre el empleo del ciclo S-I o de otro método de producción a altas temperaturas.

En cuanto a la utilización de la potencia térmica residual para producción de electricidad que se destine al no proceso, esto resulta favorable siempre que se requieran bajas cantidades de combustible en los reactores, i.e. para las cantidades de combustible estimadas teóricamente para los reactores VHTGR, son necesarias 45 toneladas de uranio enriquecido, con un 30% de quemado anual; con estas condiciones, producir electricidad a partir de la energía térmica que éstos son capaces de entregar eleva el CNPH en el rubro de combustible, según el software HEEP, y a pesar de que la O&M de la planta de producción de hidrógeno se reduce debido a los menores costos por concepto de electricidad, esta reducción no compensa el incremento en los costos de la planta nuclear; mismo comportamiento que ocurre tanto en el caso base, como en los casos A y B.

Originalmente se supuso que, debido a que en los casos A y B se tiene una considerablemente menor producción de hidrógeno que en el caso base, la capacidad de producir más electricidad y los menores costos por la misma, traería consigo reducciones en el CNPH, pero las simulaciones muestran que esto no ocurre. El incremento en la aportación al CNPH por parte de la planta nuclear siempre es mayor a las reducciones en O&M en la planta de producción de hidrógeno.

A pesar de ser la primera versión, el software HEEP resultó ser una herramienta bastante útil para el análisis económico de diversos métodos de producción de hidrógeno; facilitando la toma de decisiones y la velocidad con que éstos puedan insertarse en un mercado que impulsa cada vez más la utilización de fuentes alternas de energía. Los resultados obtenidos son similares a los de estudios relacionados al tema; comprobando su confiabilidad, y propiciando que se generen más estudios similares.

El costo por transporte del hidrógeno se tomó como constante, con referencia en diversas publicaciones al respecto, debido a que se encontró una falla en el software que, específicamente en ese rubro, impedía corroborar la veracidad de las variaciones que se tuviesen en el CNPH; de manera que en un futuro será posible incluir más aspectos concernientes a los factores que afectan económicamente la producción de hidrógeno, y así incluir más características específicas de cada tipo de tecnología en las comparaciones económicas y estudios de factibilidad.

Se observa en la tabla 4.3 que la electrólisis de alta temperatura podría resultar una opción económicamente más viable, pero los estudios en los que se basan las comparaciones con esta tecnología son de años anteriores, por lo que sería necesario hacer una actualización de los datos o una comparación similar con el software HEEP para poder determinar si realmente ocurre de esta manera. Dado que se demostró que para la configuración de los reactores el producir electricidad resulta en mayores costos, y el ciclo S-I es puramente termoquímico, esta característica puede ser una gran ventaja respecto a la electrólisis; aunque asimismo se requieren grandes cantidades de electricidad para el manejo de compresores y bombas necesarios para la circulación de los químicos en cada etapa del ciclo.

Finalmente, es imperioso notar que, a pesar de que las tecnologías más baratas para producir hidrógeno son aquellas basadas en combustibles fósiles, en el ciclo de producción de hidrógeno de las mismas se generan GEI's; situación que resulta incoherente si el objetivo de querer utilizar hidrógeno es tener un vector energético libre de contaminantes, y desde un principio se contamina para producirlo. La utilización de tecnología nuclear para la obtención de hidrógeno tiene desde luego desechos radioactivos, pero siendo éstos manejados adecuadamente, el impacto que causan al medio es mínimo, además de estar desligado al calentamiento global; y ésta es la situación más apremiante en esta época.