



Módulo Argentino de Energía Limpia

Reactores electrolíticos para la producción de hidrógeno y oxígeno a alta presión

Por **Ricardo Lauretta**, ITBA

Proyecto MAEL I

Módulo Argentino de Energía Limpia

Si hay un lugar en la Tierra que todavía se mantiene relativamente a salvo de la depredación humana, es el continente antártico. Sin embargo, la presencia de una importante cantidad de bases pertenecientes a distintos países, muchas de ellas con dotaciones permanentes de personal, hace que la integridad del ecosistema antártico comience a degradarse sensiblemente. Efectivamente, la energía necesaria para la calefacción continua de viviendas y otras dependencias, así como la energía requerida para todo otro servicio en las bases, se obtiene a partir de combustibles fósiles (gasoil, gas licuado, etc.), con la consecuente con-

taminación que esto representa. Por otra parte, el traslado de los hidrocarburos hasta las bases se realiza en tanques y contenedores, cuyo manipuleo ocasiona permanentes riesgos de derrame. Además, debido a los costos de logística y transporte, el precio de los combustibles puestos en la Antártida es varias veces mayor al original.

El consenso internacional sobre la preservación del continente antártico y la puja entre los países que reclaman derechos sobre el mismo, ha promovido una intensa observación recíproca entre las bases pertenecientes a los distintos países, lo que actúa como freno y control de los excesos cometidos contra el medio ambiente.

Como se ve, los factores ambientales y económicos, sumados a la presión internacional, hacen que la búsqueda de una solución sustentable para el problema energético en la Antártida sea urgente.

Dentro de este contexto las distintas bases realizan esfuerzos para minimizar el impacto de su presencia en el continente blanco. Este es también el caso de las bases argentinas, en las que ya se inició un proceso de estudio, investigación y pruebas, tendiente a enfrentar el desafío.

La solución a este problema es posible.

En la Antártida existe un gran potencial de energía eólica, que constituye un recurso renovable, que puede ser aprovechado con mínimo impacto ambiental, abriendo así la alternativa de lograr el mantenimiento sustentable de la actividad antártica. Sin embargo, hacer efectivo este propósito no es tarea fácil, es necesario primero resolver algunos problemas técnicos de gran dificultad.

La energía eólica, como otras formas de energía renovable, tiene la característica de estar disponible intermitentemente, lo cual hace que sea necesario disponer para su aprovechamiento de un sistema de almacenamiento de energía, tradicionalmente bancos de baterías que almacenan energía cuando está disponible y la devuelven cuando es requerida. Sin embargo, este conocido esquema posee algunos inconvenientes, por ejemplo no es viable cuando se trata de abastecer grandes consumos de energía, pues se requerirían enormes, costosos y poco prácticos bancos de baterías, que por otra parte contienen normalmente importantes cantidades de metales y sustancias potencialmente contaminantes. Las baterías además resultan poco apropiadas para las aplicaciones móviles, debido a su elevado tiempo de recarga y son vulnerables a las muy bajas temperaturas, como es el caso antártico.

Como se sabe, en las baterías se transforma energía eléctrica en energía química y viceversa, el inconveniente en el concepto de funcionamiento de la batería es que actúa como máquina de transformación y contenedor de energía al mismo tiempo. Si se pudiera almacenar la energía química fuera de las máquinas donde se produce la transformación, se podría entonces acumular y transportar la energía sin limitaciones. Este esquema es el que se ha desarrollado intensamente en los últimos años en torno al hidrógeno como portador o "vector" energético. La idea es producir hidrógeno mediante energía eléctrica a partir del agua, almacenarlo, transportarlo si es necesario y utilizarlo para generar nuevamente electricidad, calor o aplicarlo directamente en motores de combustión interna. En todos los casos el producto final del proceso es sólo agua, cerrándose así el ciclo con contaminación casi nula. Este plan requiere, para su implementación,

desarrollar las tecnologías para la producción, almacenamiento y uso seguro y eficiente del hidrógeno.

En el ITBA se está trabajando desde hace varios años en el estudio y desarrollo de las tecnologías del hidrógeno, y se han alcanzado algunos avances y logros significativos en la producción y almacenamiento de hidrógeno a alta presión, sin utilización de compresores.

Como consecuencia de esta tarea, el ITBA fue convocado para participar del proyecto MAEL (Módulo Argentino de Energía Limpia), cuyo primer objetivo fue el de construir un sistema experimental para producción, almacenamiento y usos del hidrógeno, a partir de energía eólica. Este primer módulo sería instalado en la Base Antártica Esperanza y debería cumplir para ello con las exigencias propias de ese ambiente extremo. Durante el año 2006 se firmaron los convenios entre el ITBA y la Fundación Hidrógeno Santa Cruz, entidad promotora del proyecto. De esta manera el ITBA se comprometía, entre otras cosas, a desarrollar y construir el electrolizador que equiparía al MAEL I. El electrolizador es el equipo donde se produce la electrólisis que separa el hidrógeno y el oxígeno contenidos en el agua. Por su complejidad, el electrolizador es el corazón del sistema.

Durante los años 2006 y 2007 se trabajó intensamente en el proyecto, partiendo de ideas y conceptos de diseño propios. Se integró un equipo de trabajo formado principalmente por ingenieros egresados del ITBA y alumnos que, en distinta medida, colaboraron en las tareas. A principios del año 2008 el electrolizador estaba cursando sus primeras pruebas y en abril de ese año se pudo integrar el MAEL I en el ITBA, hacer los primeros ensayos globales de funcionamiento y presentarlo en sociedad. A partir de ese momento todo el sistema se trasladó a la localidad de Pico Truncado, en la provincia de Santa Cruz, donde la Fundación Hidrógeno Santa Cruz posee una planta experimental de hidrógeno. En sus instalaciones se realizaron más pruebas y ensayos. Finalmente, a fines de diciembre del año 2008 se embarcó todo el material en el Buque Canal de Beagle de la Armada Argentina y posteriormente partió el equipo que tendría la misión de instalar el MAEL I en la Base Esperanza.





El grupo de trabajo estuvo compuesto por tres profesionales del ITBA, un integrante de la Asociación Argentina del Hidrógeno y un oficial del Ejército Argentino.

Desde un principio la concreción del objetivo de la misión se mostró como muy difícil de alcanzar. Problemas de logística derivados de imponderables relacionados con el clima y dificultades técnicas en el buque que transportaba la carga, hicieron que se demorara la llegada del material a la base. Como consecuencia de lo cual el período de tiempo planeado para las tareas de instalación y prueba se redujo drásticamente. El trabajo contra reloj fue la constante durante toda la misión. Al mismo tiempo, el marco imponente de una base enclavada en una

hermosa bahía entre glaciares, montañas y frente a un mar normalmente cargado de trozos de hielo y grandes témpanos, hizo que la tarea pareciera casi surrealista.

En este ámbito y gracias a la determinación de los miembros del grupo de trabajo, las dificultades pudieron ser paulatinamente superadas y se logró instalar completamente el MAEL I, compuesto por un aerogenerador de 5 kW ubicado a 400 m del resto de la instalación, un contenedor que alberga el electrolizador, el grupo electrógeno a hidrógeno, baterías, electrónica de potencia y sistemas de seguridad. El contenedor se ubicó a pocos metros de la “casa laboratorio”, destinada a la experimentación con sistemas de energía alternativa, donde se instaló un horno y una hornalla a hidrógeno, un equipo de soldadura a hidrógeno y oxígeno y los sistemas de ventilación y detección correspondientes.

Por otra parte, se pudieron analizar muestras de agua proveniente de distintas fuentes locales y se determinó, en primera instancia, que el agua proveniente de los trozos de hielo desprendidos de forma natural de los glaciares es, normalmente, suficientemente pura como para ser utilizada directamente en el electrolizador, sin necesidad de ningún otro tratamiento previo. Esta observación agrega una ventaja adicional al uso del hidrógeno en esas latitudes.

Finalmente, el objetivo de toda esta tarea es que el equipo instalado sea utilizado experimentalmente por personal previamente entrenado y los resultados obtenidos sirvan de valiosa realimentación para futuros desarrollos.



Durante nuestra estadía en la Antártida, que fue de veintisiete días, breve si la comparamos con los doce a catorce meses que permanecen los miembros de las dotaciones, pudimos sin embargo apreciar algo de lo que es la vida en nuestras bases. En ellas se respira un clima de permanente actividad. Desde el jefe de base hasta el último suboficial, incluyendo los científicos y visitantes ocasionales, están ocupados en sus tareas específicas y si es necesario en tareas varias necesarias para el funcionamiento de la base, como limpieza de lugares comunes, atención de la cocina, etc. Y cuando se produce la llegada desde el continente del buque con las provisiones, todo el personal

de la base colabora con la descarga, que suele durar varios días con sus respectivas noches. Todo esto fomenta un clima de interesante camaradería, acercando entre sí a las personas, independientemente de su jerarquía, grado o especialidad. Un dato curioso es que durante el tiempo que duró nuestro viaje, nunca tuvimos necesidad de utilizar dinero y mucho menos tarjetas, tampoco se nos pidió nunca un documento, ni se nos revisó el equipaje. Esto es notable si se considera que viajamos cuatro veces en avión, en dos oportunidades en un buque de la Armada Argentina, una vez en helicóptero y visitamos cuatro bases, entre ellas la base chilena Frei.

La fauna antártica que pudimos apreciar es poco abundante; está compuesta fundamentalmente por gran cantidad de pingüinos, la mayoría de la variedad adelia y algunos de la variedad papúa; focas de Weddell; petreles; golondrinas; palomas antárticas y escúas. Es notable la completa ausencia de insectos. No se observa vegetación de ningún tipo, salvo ocasionales líquenes formados sobre algunas piedras.

Las formaciones rocosas visibles son extrañas y hacen pensar en antiguos y violentos movimientos tectónicos y explosiones volcánicas. No existe el humus y el suelo es principalmente "permafrost", una mezcla de arena y piedras ligadas por el hielo. En este terreno irregular y normalmente inclinado, barrido a menudo por fuertes vientos, desplazarse a pie resultó para nosotros particularmente difícil, a pesar de haber estado en época estival. Esto pone de relieve lo difícil que puede ser habitar esas zonas en época invernal.

En el año del cincuenta aniversario del ITBA, y por vez primera, una máquina de casi 800 kg de peso, que involucra componentes electroquímicos, mecánicos y electrónicos, completamente desarrollada, diseñada y construida en el ITBA, es concluida con éxito, entregada e instalada en su destino. El electrolizador que equipa al MAEL I es el primer dispositivo de este tipo producido en Argentina y ubica al ITBA como un referente del tema a nivel nacional.

Actualmente se continúa trabajando en el ITBA para completar la construcción de un electrolizador de mayor potencia y más alta presión de trabajo, que incorpora mejoras de diseño, de seguridad y que busca alcanzar mayor eficiencia.

Para llegar a este punto hubo que tomar decisiones, algunas difíciles, asumir riesgos y compromisos, pero por sobre todas las cosas fue necesario trabajar esforzada y continuamente todo el tiempo.

Creemos que es posible que con estas acciones estemos contribuyendo a dar los primeros pasos hacia un desarrollo más amplio y consistente de sistemas de aprovechamiento de fuentes renovables de energía en la Argentina, para la protección de la biosfera y el bien de toda la sociedad.

Datos generales del Módulo MAEL I

- En promedio, el generador eólico de 5 kW –aerogenerador– produce aproximadamente 40 kWh diarios.
- El hidrógeno producido por el electrolizador se almacena en una batería de tanques, que en este caso puede acumular 10 m³ normales de hidrógeno. Esto equivale a una energía de 33 kWh.
- El electrolizador se autopresuriza al entrar en funcionamiento, impidiendo que los gases producidos se expandan. De esta manera el hidrógeno puede suministrarse a la presión de almacenamiento sin utilizar compresores.
- En este caso el hidrógeno se almacena a 30 bar.

Producción de hidrógeno por electrólisis

La producción de hidrógeno a partir de energía eléctrica por electrólisis es un proceso bien conocido en la electroquímica básica.^{[1][2]}

Por otra parte, su generación a gran escala y con aceptable eficiencia, tal como se requiere en la transición hacia

una economía del hidrógeno, plantea importantes problemas tecnológicos. A la hora de elegir la configuración del sistema de producción y almacenamiento se puede optar por producir el hidrógeno a baja presión y luego comprimirlo para su almacenamiento, o bien producirlo directamente a la presión de almacenamiento, prescindiendo así del sistema de compresión. La ventaja de esta última alternativa es evidente, pues no sólo se evita incorporar el compresor, sino que además se ahorra el gasto de energía para la compresión, mejorando el rendimiento global del proceso.^[3]

Como es sabido, la energía necesaria para comprimir cierta masa de hidrógeno puede llegar a ser importante comparada, por ejemplo, con el calor de combustión de la misma masa de gas. En efecto, se debe gastar el equivalente al 12% del calor de combustión de una masa de hidrógeno para comprimirlo a 30 bar, el 29% para comprimirlo a 200 bar y más del 45% para llevarlo a 700 bar¹.

En el párrafo anterior se ha omitido hablar del trabajo que se requiere para inyectar agua de reposición en un reactor electrolítico que opere continuamente a alta presión. Esto se debe a que dicho trabajo es siempre mucho menor que el que se requeriría para la compresión de la correspondiente cantidad de gas y, por lo tanto, puede ser despreciado.

En el almacenamiento, se requiere que la presión sea lo más alta posible para mejorar la relación entre energía contenida y volumen ocupado. Esto indica que la alternativa de producir hidrógeno directamente a la presión de almacenamiento es altamente conveniente desde el punto de vista energético, sobre todo cuando se considera su confinamiento a muy alta presión. Como contrapartida, la producción de hidrógeno a la presión de almacenamiento requiere de reactores electrolíticos que operen de manera segura y confiable en esas condiciones. Esto agrega a los problemas propios de diseño de los reactores electrolíticos de baja presión o de presión atmosférica, otros problemas específicos, relacionados con el diseño mecánico de los contenedores, las conexiones hidráulicas y eléctricas, y el manejo de las corrientes parásitas. ■

Referencias

- [1] C. L. Mantell, *Electrochem. Engineering*, New York, McGraw-Hill, 1960, p. 315.
- [2] C. L. Mantell, *Electroquímica Industrial*, Cap. XVIII, Barcelona, Reverté, 1960.
- [3] Lic. Juan R. Laurretta, Instituto Tecnológico de Buenos Aires, "Producción y almacenamiento de hidrógeno a alta presión", Primer Congreso Nacional *Hidrógeno y fuentes sustentables de energía*, Bariloche, Río Negro, Argentina, Hyfusen, junio de 2005.

¹ Estos datos fueron estimados considerando que el gas se encuentra inicialmente en condiciones normales, tomando el calor de combustión inferior del hidrógeno y considerando que el compresor posee un rendimiento del 60%. Este cálculo no considera el eventual gasto energético por compresión del oxígeno.