

Energías alternativas en CICATA, Querétaro

Martín de Jesús Nieto Pérez, Jorge Pineda Piñón, Reynaldo Pless Elling,
Gonzalo Alonso Ramos López, Mónica Araceli Vidales Hurtado

CICATA Querétaro. Cerro Blanco Núm 141. Col. Colinas del Cimatario, Santiago de Querétaro, Qro. MÉXICO C.P. 76090

Resumen

El aprovechamiento de la energía solar se realiza, principalmente, mediante la utilización de dos tipos de tecnologías: fotovoltaicas (que convierten la energía solar en energía eléctrica, con celdas fotoeléctricas), y solar térmica (que aprovecha la energía del Sol para el calentamiento de fluidos o cavidades mediante colectores solares planos, que alcanzan temperaturas de 40 a 100°C, o concentradores, con los que se obtienen temperaturas cercanas a 500°C o superiores). México es uno de los países con mayor potencial, por su insolación diaria media de 5 kWh/m². Pese a esta condición, el aprovechamiento de la energía solar está poco desarrollada en nuestro país. Por ello, atendiendo a este interés se ha conformado el área de energías alternativas en CICATA Querétaro. El grupo de investigadores de ésta área esta enfocado hacia varios proyectos de investigación y desarrollo tecnológico en el campo de la energía solar térmica. Asimismo, y conscientes del enorme potencial que representa el hidrógeno como combustible del futuro, se trabaja en la generación y aprovechamiento energético de plasmas de hidrógeno con énfasis en aplicaciones en procesos industriales energéticamente más convenientes y amigables con el ambiente, que permitan sustituir a los ya existentes.

Introducción

El ser humano ha utilizado diferentes recursos energéticos a lo largo de su historia. Durante milenios, la energía solar, la energía hidráulica y aquella proveniente de la combustión de madera, han sido las únicas disponibles. Con el uso de carbón, además de energía térmica, se pudo acceder a la generación de energía mecánica a través de la máquina de vapor. A partir de este invento la generación y uso de energía se convirtieron en el motor del desarrollo social y económico. El uso de petróleo y sus derivados trajo consigo el desarrollo y la utilización de las máquinas de combustión interna, aunado a una mejor calidad de vida y, en muchos casos, llena de confort.

Por mucho tiempo no se consideró que este recurso podría limitarse o, inclusive, agotarse. Sin embargo, en la actualidad el petróleo ha dejado de ser un combustible barato en los mercados mundiales. Por otra parte, asociada al creciente uso de estos combustibles la calidad del medio ambiente ha sido menguada de manera significativa, mediante la contaminación de agua, aire y suelo, además del calentamiento global del planeta debido a las emisiones de gases de efecto invernadero. Derivado de ello, las políticas energéticas a nivel mundial se han enfocado hacia el desarrollo y el empleo de nuevas energías renovables que, además de la hidráulica, sustituyan a las derivadas de los hidrocarburos.

De hecho, en algunos países ha comenzado ya la inserción de estas nuevas tecnologías que emplean como fuentes de energía, principalmente, al viento, al

Sol y a las mareas. Actualmente, entre el 15 y el 20 % de la energía en el mundo proviene de estas fuentes renovables y se ha recomendado que para el año 2020 este porcentaje se incremente al 30 % a fin de disminuir el impacto del efecto invernadero [1]. Sin embargo un importante obstáculo para su inserción -- específicamente en el sector industrial-- es la gran demanda energética que las plantas industriales modernas requieren [2].

Por mucho tiempo el principio de la economía de escala (“más grande es más barato”) incentivó la construcción y operación de instalaciones industriales de gran tamaño. Refinerías, plantas eléctricas, siderúrgicas, plantas cementeras y plantas químicas fueron construidas con base en aquel principio, y su legado son instalaciones con una gran demanda energética, principalmente en forma de electricidad y calor. Esta economía se sustentaba en la disponibilidad de fuentes intensivas de energía barata (combustibles fósiles). El paradigma económico de la economía de escala no es compatible con una economía energética basada en energías renovables que, por su naturaleza, no pueden suministrar demandas localizadas tan grandes. Esto es particularmente cierto para entradas de calor de origen solar, en donde dicho esquema es factible económicamente sólo para procesos que requieren temperaturas de 200°C o menos [3]. Así, un proceso de “atomización” industrial tendrá que llevarse a cabo para permitir una mayor penetración de las energías renovables al sector industrial.

La necesidad de energéticos se verá incrementada en las próximas décadas. Se estima un incremento

acumulado del 45 % para el año 2030 [4], por lo que es de gran importancia el uso de fuentes alternas de energía que sean limpias, disponibles, y puedan ser utilizadas con alta eficiencia. El compromiso con las generaciones futuras exige continuar la búsqueda y el desarrollo de nuevas tecnologías eficientes y amigables con el medio ambiente que empleen dichas fuentes, sustituyendo el uso de combustibles fósiles.

Consciente de este compromiso, el CICATA Querétaro ha establecido una línea de investigación y desarrollo de dispositivos que empleen energías no-con convencionales, teniendo como objetivo generar equipos energéticamente eficientes, económicos, y que puedan sustituir a los ya existentes, o bien, que puedan ser operados en regiones en donde no se cuente con conexión a la red eléctrica. La investigación y desarrollo que se realiza se centran en dos áreas del conocimiento: energía solar térmica, y desarrollos basados en plasmas de hidrógeno.

Desarrollos basados en energía solar térmica

En el área de energía solar térmica, se desarrollan varios dispositivos para aplicaciones de calentamiento de agua, producción de carbón vegetal, refrigeración solar y cocción de tabiques de arcilla.

En cuanto al calentamiento de fluidos con energía solar, hay tecnologías de circulación natural y de circulación forzada. En la primera, el motor de circulación del fluido es directamente la energía solar. En la segunda, se requiere de una bomba de circulación. Los sistemas de circulación natural son sencillos y se basan en el principio por el cual el fluido del circuito primario, calentado por el Sol, disminuye su densidad y se vuelve más ligero y asciende, provocando un movimiento natural del fluido mismo conocido como flujo termosifónico. En estos sistemas el depósito de acumulación del agua tiene que estar colocado más arriba del panel y a poca distancia de éste. Los elementos que forman un sistema solar de circulación natural son: el colector solar y el depósito de almacenamiento [5].

En el CICATA Querétaro se ha fabricado un prototipo de calentador solar con circulación natural para uso doméstico que emplea una lámina de hierro galvanizado como colector solar. El objetivo de este desarrollo ha sido el de obtener un producto más económico que los ya existentes en el mercado. Este proyecto se desarrolló de manera conjunta con la Universidad Tecnológica de San Juan del Río. El prototipo se encuentra en su etapa de optimización y comercialización, debido al interés que ha suscitado

para su instalación a gran escala en nuevas unidades habitacionales.

El uso de albercas al aire libre normalmente está limitado a los meses de verano (tres, aproximadamente). Este tiempo puede prolongarse hasta por seis meses en climas templados, calentando el agua mediante la tecnología solar. Para esta aplicación se requiere mantener la temperatura del agua entre 24-27°C [5]; es decir, compensar las pérdidas que ocurren principalmente durante el transcurso de la noche. Para regiones que cuenten con insolación adecuada, el agua de la alberca se puede circular por un colector solar y, durante el transcurso de la mañana, obtener nuevamente temperaturas del orden de 24- 27°C. Un caso interesante es el uso de albercas domésticas plegables de bajo volumen, que habitualmente se instalan en casas habitación durante las vacaciones. De no contar con un calentador, la tentación de vaciar la alberca y rellenarla al día siguiente, es grande. En CICATA Querétaro se desarrolló un calentador solar flexible, de circulación forzada, para uso en albercas domésticas plegables de bajo volumen y bajo costo, susceptible de ser comercializado junto con la alberca plegable. El prototipo desarrollado permitió alcanzar temperaturas de 24°C.

Actualmente se desarrolla un sistema solar para la fabricación de carbón vegetal con energía solar. Tradicionalmente el carbón vegetal se obtiene mediante la quema parcial de la madera fresca en grandes hornos, con la gran desventaja de que en este procedimiento se consume una parte de la propia madera. En días húmedos se tienen mermas del orden de 40-50 %, sin considerar la significativa contaminación derivada del proceso. La propuesta del CICATA Querétaro es fabricar un horno con concentradores solares, cuyo calor, para llevar a cabo la combustión, sea proporcionado exclusivamente por el Sol. Con esta fuente de energía las mermas serían minimizadas. Se han realizado pruebas preliminares a nivel de laboratorio, obteniendo carbón de buena calidad y altas eficiencias en el proceso.

Otro proyecto de gran interés que está desarrollándose, es el de la refrigeración solar. Este es un proceso conocido y desarrollado en países industrializados. El desarrollo propuesto se basa en el proceso de adsorción-desorción, empleando energía solar. Este proceso utiliza una zeolita más un fluido refrigerante, como metano, etanol o agua. El refrigerante en forma de vapor es adsorbido en la zeolita, con lo que se extrae calor de una cámara, en donde pueden almacenarse alimentos. La energía solar

se utiliza para desorber el fluido refrigerante que ha sido atrapado en la zeolita, y de esta manera regenerarla continuando con el ciclo de refrigeración. Las zeolitas comerciales aún son muy costosas. El desarrollo propuesto se enfoca en la utilización de zeolitas económicas que puedan realizar esta función, a fin de obtener un desarrollo económico.

Uno más de los proyectos sobre el que ya se trabaja en CICATA es la fabricación de un horno solar para la cocción de tabiques de arcilla, que consta de un reflector plano (helióstato) con seguidor solar en dos ejes (rotación-elevación), el cual dirige los rayos del Sol hacia un concentrador parabólico fuera de eje que, a su vez, enfoca la radiación hacia la entrada de una cámara de cocción. En el interior de la cámara se halla una cavidad de cuerpo negro que absorbe la radiación solar y transmite el calor a los tabiques colocados a su alrededor. Se espera que las temperaturas alcanzadas por este sistema estén entre 900 y 1,050°C. Hasta ahora se han construido las partes que lo conforman, faltando llevar a cabo las pruebas para determinar su eficiencia.

Desarrollos basados en plasma de hidrógeno

El hidrógeno es el elemento más ligero de la naturaleza y el más abundante en el universo. Es un gas difícil de licuar. En nuestro planeta se encuentra en la materia orgánica, agua, petróleo, carbón o en gas natural, pero no en forma libre, por lo que para producirlo se requiere invertir una gran cantidad de energía. Los métodos tradicionales para su producción requieren grandes cantidades de energía, entre los cuales está la reformación a partir de metano, un proceso que utiliza vapor de agua y catalizadores obteniendo, como producto secundario, CO₂. Otro método para producirlo con mayor pureza y eficiencia es la electrólisis del agua. Actualmente hay un método novedoso para su producción, que se basa en la generación de plasmas de hidrocarburos de bajo peso molecular.

Un gas con una población importante de electrones libres puede ser catalogado como un plasma. Los plasmas están presentes en la naturaleza en forma de flamas, capas atmosféricas en los planetas y en las estrellas. Existen también plasmas antropogénicos (luces de neón, pantallas de televisión, herramientas industriales para corte, soldadura, o microelectrónica). Puesto que la mayor parte de los avances en tecnología de plasmas se han hecho en plasmas de baja presión (por debajo de la presión

atmosférica) de uso común en la industria de la microelectrónica, los plasmas no han recibido mucha consideración para su inserción en procesos industriales debido al requerimiento de vacío, que no es compatible con muchos procesos continuos e incrementa el costo de capital significativamente [6]. Con el objetivo de remover las barreras de inserción de los plasmas en la industria, se ha considerado el uso de plasmas operando a presión atmosférica [7]. Plasmas atmosféricos fuera de equilibrio térmico han encontrado aplicaciones en remoción de emisiones [8], modificación de superficies [9] y síntesis de químicos, incluyendo amoniaco [10].

En este rubro, en el CICATA Querétaro se desarrolla un método enfocado a la generación de amoniaco, basado en reactores eléctricos a partir de aire y gas natural. La originalidad de este proyecto, entre otras cuestiones, considera escalar hacia abajo el proceso industrial de una manera económica. Para ser rentables, las plantas requieren ser de un tamaño mínimo debido a la economía de escala y a su alto consumo energético. El proceso de síntesis de amoniaco tiene 100 años [11] y las mejoras que se han hecho al proceso son más bien evolucionarias que revolucionarias: eficiencia de equipos, mejores catalizadores y esquemas de integración de calor [12]. El proceso de síntesis de amoniaco tiene un gran consumo de energía primaria en forma de gas natural (metano). El consumo de gas natural en el proceso tiene dos vertientes: como reactivo para la generación de hidrógeno, y como combustible. Del consumo total de gas en una instalación de amoniaco, aproximadamente 2/3 son para realizar la síntesis del producto, mientras que 1/3 del consumo es utilizado para calentar los reactivos y alcanzar las temperaturas de operación necesarias (1000°C). La tecnología actual para plantas de síntesis de amoniaco sólo las hace económicamente rentables para capacidades superiores a 100 toneladas por día, ya que éste es el tamaño mínimo con una tasa de retorno de inversión aceptable. El costo de capital es alto debido a las altas temperaturas requeridas en la etapa de reformación y a las altas presiones requeridas en la etapa de síntesis [13].

Para implementar energías renovables en procesos industriales, siempre es deseable que la inyección de energía al proceso se haga por vía eléctrica, pues la inyección de calor de origen renovable es menos eficiente especialmente cuando se requieren altas temperaturas [3]. Con la generación de plasmas se logra este objetivo.

Este proceso genera especies difíciles de obtener en un



Fig. 1. Prototipo de calentador de agua de placa plana de acero galvanizado. Desarrollo realizado con fines de proveer a las amplias capas de la población residente en el altiplano mexicano de un dispositivo robusto y de bajo costo, aprovechando el excelente recurso solar que se da en esta zona, ante todo en las temporadas de otoño e invierno, cuando más requiere de agua caliente.

sistema en equilibrio térmico, como moléculas excitadas, radicales libres e iones positivos. Estas especies son sumamente reactivas y su presencia hace del medio un sistema mucho más reactivo que el estado de equilibrio termodinámico. Puesto que la inyección energética al sistema se hace mediante un campo eléctrico, y no por vía térmica, la compatibilidad con energías renovables se incrementa de manera significativa.

Para la síntesis de amoníaco se generan especies reactivas de hidrógeno y nitrógeno, a partir de plasmas de metano y aire, respectivamente. Posteriormente estas interactúan formando la molécula de amoníaco más CO_2 como producto secundario.

Dos estrategias pueden implementarse para reducir las emisiones asociadas con la producción de amoníaco: 1) disminución en la temperatura de reformación, y 2) utilizar el CO_2 generado durante la síntesis para fabricar otro compuesto, como puede ser ácido carbónico, o urea. La primer estrategia puede implementarse utilizando energía renovable para alimentar el proceso; la segunda requiere una integración de cadenas de producción. En el caso del amoníaco la síntesis de urea es la opción lógica, pues es un proceso que requiere NH_3 y CO_2 como reactivos. La implementación de ambas estrategias reduce las emisiones directas de CO_2 asociadas con el proceso, en



Fig. 2. Helióstato empleado para la captación de la radiación solar. La energía incidente es direccionada a un espejo concentrador parabólico fuera de eje, el cual dirige la radiación hacia la entrada de una cámara de cocción.

casi un 100 %.

Otro de los proyectos de interés en este campo, es el desarrollo de un dispositivo para el reformado de metano, a partir de plasmas, a bajas temperaturas para la producción de hidrógeno en el propio sitio de consumo. Este dispositivo se aplicaría en conjunto, con celdas de combustible para generar energía eléctrica que pueda ser empleada en, por ejemplo, automóviles. El gran problema de la tecnología de celdas de combustible es que se requiere el almacenamiento de hidrógeno en tanques presurizados a 3,000 psi, cuestión que resulta inconveniente. La alternativa, entonces, es emplear cilindros de metano, o etano, gases fácilmente licuables, generando plasmas para la producción de hidrógeno.

Otros proyectos están relacionados con el aprovechamiento de plasmas de hidrógeno en reactores tipo tokamak. Entre ellos, el estudio de impacto de plasmas muy energéticos sobre superficies de tungsteno o de carbono reforzado, que se utilizan como primera pared en estos reactores.

Adicionalmente a los proyectos que contemplan la generación de plasmas para la producción de hidrógeno, cabe mencionar un desarrollo de los investigadores del CICATA. Se trata del uso de aluminio de desecho (por ejemplo, latas de cerveza o

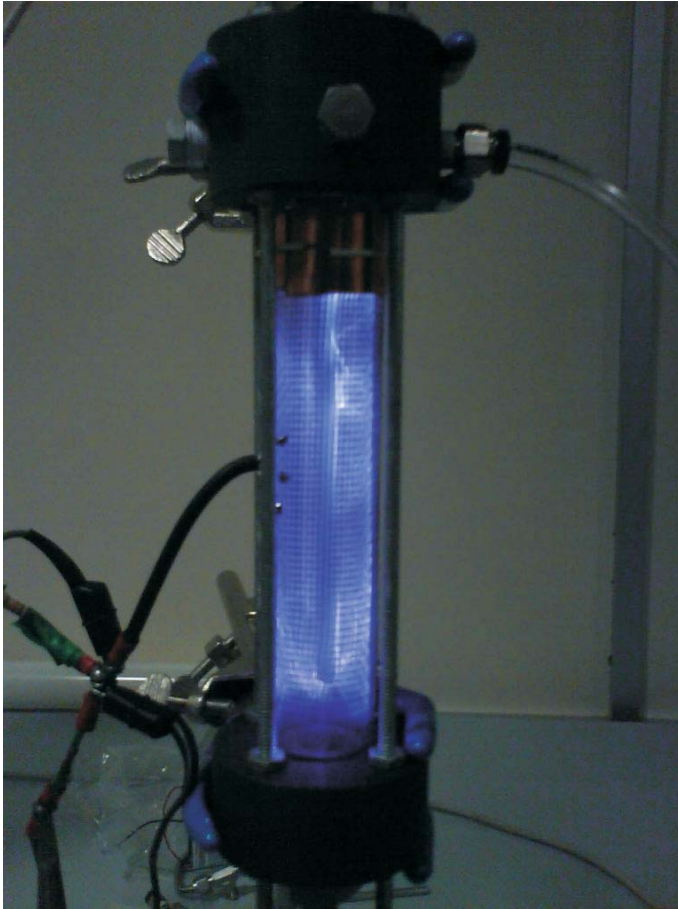


Fig. 3. Prototipo de reactor de plasma de barrera dieléctrica. Desarrollo aplicado en la generación de hidrógeno y síntesis química.

de refresco) como materia prima para la producción de gas hidrógeno, para utilizarse de inmediato en la energización de celdas de combustible o de un refrigerador basado en el sistema de absorción amoníaco-agua, en donde el boiler es calentado por combustión directa de hidrógeno en aire. El gas hidrógeno se libera con facilidad mediante hidrólisis alcalina del aluminio de desecho.

Conclusiones

Es de suma importancia valorar y atender el compromiso que se tiene con la naturaleza y las generaciones futuras, una forma de afrontarlo es a través de la educación, en todos los niveles, enfocada a estimular el desarrollo y empleo de energías alternativas y de dispositivos eficientes, donde estas puedan ser aplicadas.

Referencias

- [1] <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7053/1/QuesonER211009>.
- [2] Wohlgemuth, N.; Monga, P. "Renewable energy for industrial applications in developing countries". Proc. of ISES Solar World Congress 2007. Solar Energy and Human Settlement, 2940-4, 18-21 Sept. 2007, Beijing, China.
- [3] Schnitzer, H.; Brunner, C.; Gwehenberger, G. "Minimizing greenhouse gas emissions through the application of solar thermal energy in industrial processes". *Journal of Cleaner Production* 15, p. 1271 (2007).
- [4] Jorge Blazquez, José María Martín-Moreno, "Tendencias globales del consumo de energía y sus implicaciones sobre las emisiones de gases de efecto invernadero", AMBIENTA, gobierno de España, 86, p. 47 (2009).
- [5] <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7067/1/termica>.
- [6] Ono, S. "The dawn of atmospheric-pressure plasma". Transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan A, vol. 126-A, pp. 8 (2006).
- [7] Kogelschatz, U. "Dielectric-barrier Discharges: Their History, Discharge Physics, and Industrial Applications". *Plasma Chemistry and Plasma Processing* 23, p. 1 (2003).
- [8] Penetrante, B. M.; J. N. Bardsley, et al. "Kinetic analysis of nonthermal plasmas used for pollution control." *Japanese Journal of Applied Physics* 36, n. 7B, p. 5007 (1997).
- [9] Cernakova, L.; Kovacik, D. et al. "Surface modification of polypropylene non-woven fabrics by atmospheric-pressure plasma activation followed by acrylic acid grafting." *Plasma Chemistry and Plasma Processing* 25 n. 4, p. 427 (2005).
- [10] Mizushima, T.; Matsumoto, K. et al.. "Tubular membrane-like catalyst for reactor with dielectric-barrier discharge plasma and its performance in ammonia synthesis." *Applied Catalysis A: General* 265, p. 53 (2004).
- [11] Haber, F. "The synthesis of ammonia from its elements", 1920 Nobel Lecture
- [12] Russel, J. G.; Stokes, K. J. "Energy efficiency in ammonia plants". *Chemical Engineering Progress* 80, n. 6, p. 33 (1984).
- [13] Sukumaran-Nair, M. P. "Ammonia industry – today and tomorrow". *Hydrocarbon Processing*, n. 4, p. 47 (2006).

Correo electrónico autores:

Martin de Jesús Nieto Pérez <mnietop@ipn.mx>,
 Jorge Pineda Piñón <arqjpp@yahoo.com>,
 Reynaldo Pless Elling <rpless@ipn.mx>,
 Gonzalo Alonso Ramos López <gramos@ipn.mx>,
 Mónica Araceli Vidales Hurtado <aravidh@gmail.com>,