REVISTA DE Energías RENOVABLES

ANES® Asociación Nacional de Energía Solar

PUBLICACIÓN TRIMESTRAL

OCT-DIC 2020
Certificado de reserva al uso exclusivo del Título:
No. 04-2014-101414142700-203
Registro ISSN: 2395-9304

41

PROYECTO TÉRMICO SOLAR PARA CALENTAMIENTO DE AGUA EN EL SECTOR HOSPITALARIO

¿LOS RETOS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL 2020?

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SEGUIDORES SOLARES DE 2 EJES PARA LA INDUSTRIA SOLAR MEXICANA DE CONCENTRACIÓN FOTOVOLTAICA

P2X Y EL HIDRÓGENO VERDE EN MÉXICO

SEMBLANZA DE "ALFREDO SÁNCHEZ FLORES", EXPRESIDENTE ANES

ENTREVISTA A "ISAAC PILATOWSKY FIGUEROA", EXPRESIDENTE ANES

REVISTA Energías RENOVABLES Año 6 Núm. 41, OCT- DIC 2020

La Revista Energías Renovables, es el órgano oficial de comunicación de la Asociación Nacional de Energía Solar, AC, hecha por especialistas en energías renovables y dirigida al medio especializado, así como a ciudadanos interesados en formar parte del cambio energético tan urgente en México, así como en todo el mundo.

Karla Cedano
Presidencia

Rafael García
Vicepresidencia

Sarah Messina
Secretaría General

Hugo Navarro
Tesorería

Daniel García
Secretaría de Organización

Claudia Roldán
Secretaría de Educación (Asuntos Estudiantiles)

Sergio Ruiz
Secretaría de Vocalías

Gilberto Sánchez
Secretaría de Legislación

Camilo Arancibia
Secretaría representante ante la ISES

Marisol Oropeza
Secretaría de Asuntos Internacionales

Iván Salgado
Secretaría de Publicaciones

Rosanety Barrios
Secretaría de Políticas Públicas y Relaciones Institucionales

Rafael Carmona
Secretaría de Innovación Tecnológica y Emprendedurismo

Javier Romero
Secretaría de Asuntos Internos

Angel Mejía
Secretaría de Asuntos Industriales

Naghelli Ortega
Secretaría de Capacitación

Ricardo Rodríguez
Secretaría de Vinculación

Heidi Villafán
Secretaría del Comité Editorial

Ana Rincón
Secretaría de Difusión

Oscar Sánchez
Secretaría Administrador de la página web

Luis Calderón
Secretaría de Secciones Regionales de ANES.

Sandra Caballero
Vocalía para la Inclusión y Género

Luis Flotte
Vocalía para Sector FV

Oscar Hernández
Vocalía para Sector Eléctrico

Editores Responsables: Iván Salgado, Secretario de Publicaciones y Heidi Villafán, Comité Editorial; Edición; Coordinadora Editorial: Dafne Krinis, Diseño Gráfico y Dirección de Arte; Proyecta 360°; Consejo Editorial: Dr. José Luis Fernández Zayas, Dr. David Morillón Gálvez, Dr. Eduardo A. Rincón Mejía, Ing. Odón de Buen Rodríguez.

La Revista Energías Renovables, Año 6, Número 41, OCT-DIC 2020, es una publicación trimestral editada por la Asociación Nacional de Energía Solar, AC. Insurgentes Sur 1748-303 Col. Florida, Álvaro Obregón D.F. C.P. 01030 | Tel: 5661-3787 E-mail: anes@anes.org Editores responsables: Iván Salgado y Heidi Villafán. Reserva de derechos ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor.
Certificado de reserva al uso exclusivo del Título: No. 04-2014-101414142700-203. Registro ISSN: 2395-9304

Los artículos que aparecen en la revista de Energías Renovables son responsabilidad única y exclusiva de los autores y no representan necesariamente el pensamiento de los editores ni de la Asociación Nacional de Energía Solar, A.C.

Prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio audiovisual, electrónico o impreso sin autorización por escrito de los editores y del autor.

Producto Editorial Hecho en México

ÍNDICE

Palabras de la Editorial 04

¿Los Retos de las Energías Renovables en el 2020? 05

Proyecto Térmico Solar para Calentamiento de Agua en el Sector Hospitalario 08

Semblanza “Ing. Alfredo Sánchez Flores”, Expresidente ANES 11

Entrevista a Isaac Pilatowsky Figueroa, Expresidente ANES 12

Diseño y Construcción de Seguidores Solares de 2 Ejes para la Industria Solar Mexicana de Concentración Fotovoltaica 15

P2X y El Hidrógeno Verde en México 21

PALABRAS DE LA EDITORIAL

En este número se presentan los siguientes trabajos:

“Los retos de las energías renovables en el 2020” a cargo de Billy Sandoval Ramos, donde se describen los retos que tienen las energías renovables en el 2020, particularmente las centrales eléctricas de generación distribuida.

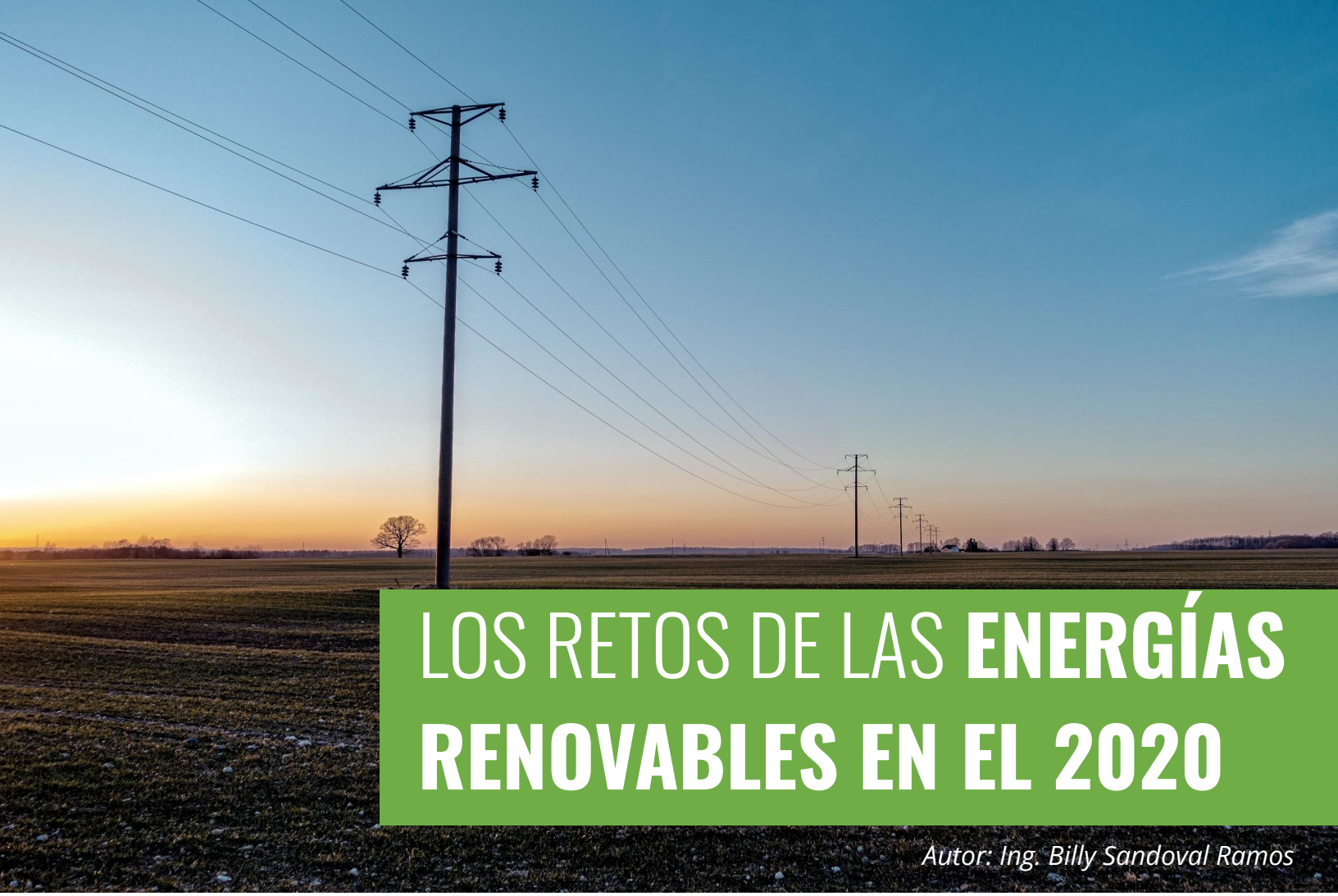
Abordamos también la descripción del proyecto térmico solar para el calentamiento de agua en el sector hospitalario de Carlos Pérez Bracamontes, donde se describe el proyecto que llevaron a cabo para proveer la demanda diaria de agua caliente del hospital Santa María Chapalita, ubicado en Zapopan, Jalisco.

Además, les presentamos la entrevista realizada al Dr. Isaac Pilatowsky Figueroa quién fue presidente de la ANES de 1986 y 1988, quien nos comparte sus reflexiones sobre la ANES.

Los paneles fotovoltaicos de Silicio son la tecnología solar más popular para la producción de electricidad, sin embargo, una de sus desventajas es su relativa baja eficiencia de conversión entre un 15-21 %. Una alternativa de mayor eficiencia son los sistemas fotovoltaicos de concentración los cuales tienen record a nivel laboratorio de 38.9%. Los sistemas CPV (por sus siglas en inglés) utilizan sistemas ópticos para concentrar la radiación solar en una zona focal donde se ubica una celda solar de alta eficiencia. El desafío con los sistemas CPV es su elevado costo, ya que requieren de robustos altamente precisos sistemas de seguimiento solar. En esta edición de la Revista de Energías Renovables, se presenta el desarrollo de 2 sistemas de seguimiento solar para aplicaciones en sistemas CPV, los autores describen las condiciones de diseño y presentan los resultados de los 2 prototipos fabricados.

Otra de las limitantes que se ha mencionado de las principales fuentes de energía renovable como la solar y la eólica, es su intermitencia y alta variabilidad. Estas fluctuaciones en la producción de energía representan una desventaja, ya que generan incertidumbre. De ahí la necesidad de contar con sistemas de respaldo o almacenamiento de energía para compensar esas fluctuaciones. Por ello también en esta edición se presenta un estudio que explora la producción electrolítica de Hidrógeno como una opción de almacenamiento de energía.

Presentaremos una semblanza del Ing. Alfredo Sánchez Flores, a quien recordamos con cariño, como expresidente de ANES.



LOS RETOS DE LAS **ENERGÍAS RENOVABLES EN EL 2020**

Autor: Ing. Billy Sandoval Ramos

¿Has pensado cómo llega la electricidad hasta donde tú lo necesitas?

En cuanto llegas a tu hogar y enciendes la luz, te sientas en tu sillón y presionas el botón de encendido de la TV te conectas a la red inalámbrica, pasas al refrigerador por alguna bebida. Te imaginas lo que hay detrás para que todo esto suceda, no son solo unos simples cables que se conectan a todos los aparatos eléctricos de tu casa, hay toda una infraestructura que normalmente está a varios km de distancia.

Existen alrededor de 108,000 km de líneas de transmisión, de esta manera llega a nuestras casas. Para esquematizarlo, la industria eléctrica en México se genera, se transmite, se distribuye y por último CFE la suministra *(Figura 1)*.

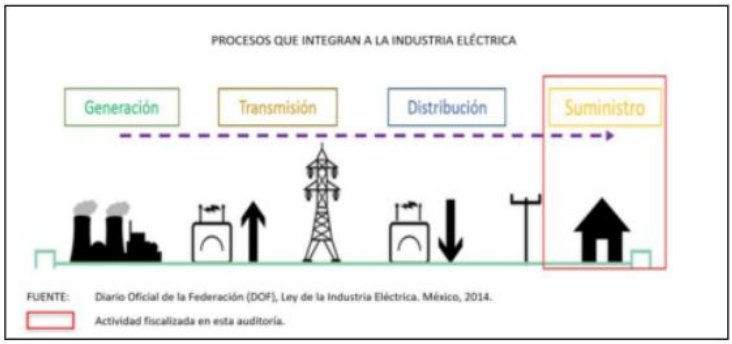


Figura 1. Proceso de la industria eléctrica

La mayor parte de la generación de energía eléctrica proviene de combustibles fósiles como se muestra en la figura 2, y éstas suman casi el 70% de la generación en todo el país mientras que las energías renovables como la fotovoltaica 2.6% y la eólica 6.8%.

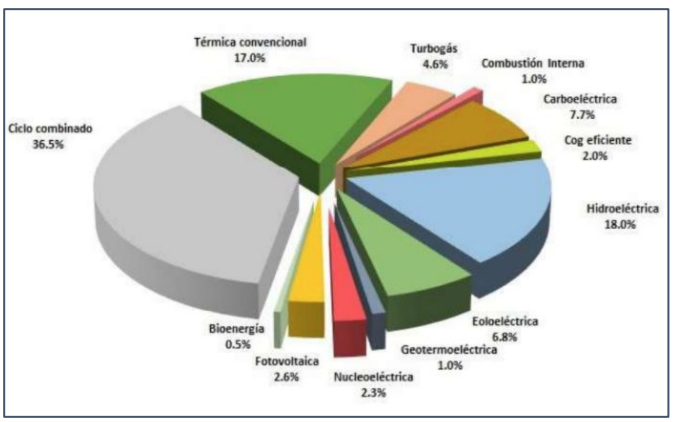


Figura 2. Capacidad instalada por tipo de tecnología al 31 de diciembre de 2018.

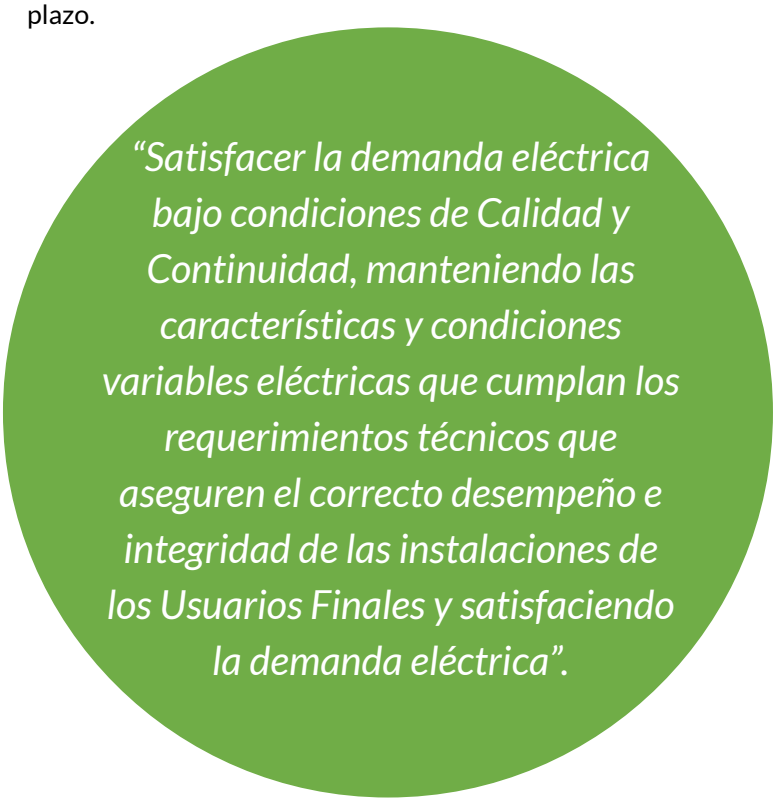
Fuente: PRODESEN 2019-2033

Las energías renovables como la solar y la eólica, también se les llama energías limpias porque no contaminan debido a que la fuente de energía son el sol y el viento. Actualmente hay un concepto llamado Generación Distribuida, es decir, Generación Descentralizada, que no es más que generar tu propia energía en el lugar donde la requieres a pequeña escala. La legislación vigente nos permite acceder a estas tecnologías, para que se puedan utilizar en incluso en nuestras casas o negocios como lo es la energía solar fotovoltaica por medio de módulos fotovoltaicos o paneles solares llamados así comúnmente. En los últimos años esta tecnología se ha vuelto cada vez más asequible, según datos de NREL (National Renewbable Energy) publicados en marzo de 2019 en la Expo Solar Power México, solo en los últimos 12 años esta tecnología ha bajado sus precios un 94% y ahora es posible llegar a retornos de inversión de 3 años, es decir, si alguien que instaló e invirtió en paneles solares
para su casa en el año 2017 ahora ya recuperó esa inversión y debido a que la vida útil de los paneles solares es normalmente de 25 años podrá verse beneficiado otros 22 años sin pagar grandes cantidades por concepto de energía eléctrica a la CFE (Comisión Federal de Electricidad).

Sin embargo, en los últimos días, las medidas tomadas por el gobierno actual denotan señales de volver al pasado al consumo del carbón y de combustibles fósiles lo cual el sector energético de manera global ha dejado atrás y el futuro nos marca un camino distinto que son las energías renovables, pero sobre todo la conducción hacia un camino de saneamiento de nuestro planeta. Como un buen ejemplo está Islandia que en 1970 dependía totalmente del carbón y petróleo importado, ahora el 100% de su electricidad es renovable.

Con el objetivo de promover el consumo de combustibles fósiles la SENER (Secretaría de Energía) emitió un ACUERDO en el cual impide que las Centrales Eléctricas de Energías Renovables de gran escala NUEVAS no entren en operación por el "riesgo" que implica para el Sistema Eléctrico Nacional, sin embargo, éstas ya se ampararon y con el debido procedimiento establecidos por CENACE (Centro Nacional de Control de Energía) continúan con su operación normal. Las centrales eléctricas de Generación Distribuida (menor a 500 kW) no requieren permisos ante CENACE debido a que son generadores a menor escala como lo mencioné anteriormente. Por tanto, en Generación Distribuida a nivel comercial, industrial y residencial (menor a 500 kW) no se han detenido las operaciones y los trámites corren de manera normal.

También en otro ACUERDO por el que se emite la Política de Confiabilidad, Seguridad, Continuidad y Calidad en el Sistema Eléctrico nacional publicado en el DOF el día 15 de mayo de 2020, menciona que en febrero de 2017 se publicaron las Políticas de Confiabilidad acotadas prácticamente al mercado de balance de potencia, sin embargo lo que este nuevo acuerdo complementa y recalca una y otra vez, es: "satisfacer la demanda eléctrica bajo condiciones de Calidad y Continuidad, manteniendo las características y condiciones variables eléctricas que cumplan los requerimientos técnicos que aseguren el correcto desempeño e integridad de las instalaciones de los Usuarios Finales y satisfaciendo la demanda eléctrica". Y definen a grandes rasgos que las energías limpias como la eólica y la solar son intermitentes debido a que la solar y eólica actualmente se consideran intermitentes debido a que no garantizan una generación constante como lo hacen los generadores a base de gas o combustóleo, cabe mencionar que el futuro que nos depara en términos globales apuntan al almacenamiento de energía mediante baterías y el conjunto de la tecnología solar y eólica con baterías nos daría esa continuidad en el suministro de energía eléctrica de la que habla con cierto énfasis dicho acuerdo, por lo pronto mencionan que esta política contribuirá con el aumento ordenado de la generación de energía con Energías Limpias y que éstas serán tomadas en cuenta para los programas de ampliación y modernización de la Red Nacional de Transmisión y se deberán considerar las reservas operativas la variabilidad horaria y estacional de las Centrales Eléctricas con Energía Limpia, es decir, ya están contemplando esa intermitencia en un corto o mediano plazo.



En el caso de las Centrales Eléctricas con Energía Limpia, deberán garantizar la confiabilidad por control de voltaje de manera permanente. Para las Centrales Eléctricas de Generación Distribuida deberán cumplir con las características necesarias de interconexión para garantizar la seguridad de los usuarios y del personal que opera la Red Generación Distribuida para los sistemas fotovoltaicos deberán cumplir con inversores inteligentes, así como la necesidad de establecer monitoreo con comunicación y control desde los Centros de Control de Distribución del CENACE. Es por eso que si estás pensando en instalar paneles solares lo más recomendable es contratar siempre a una empresa confiable con certificaciones y que instale los equipos que tengan todos los elementos de confiabilidad que se solicitan en este ACUERDO.

En México tenemos una irradiación solar promedio de 5.3 kwh/m2 por día y comparado con Alemania se tiene un promedio 3.0 kwh/m2, es decir en México tenemos casi el doble de irradiación solar y no la aprovechamos como en Alemania, si comparamos el crecimiento de energía solar fotovoltaica con Alemania, México crece en un rango de 0.5 - 3.0 GW al año (figura 3), mientras que Alemania crece en un rango de 3 - 4 GW anualmente (figura 4). ¿Cuál es la razón?, son distintas razones la primera es el impulso del gobierno hacia las energías renovables, otra la concientización de sus habitantes. México se podría comparar con Brasil (figura 5), sin embargo, Brasil en conjunto de todas las energía renovables nos rebasa en capacidad.

En conclusión, tenemos un gran potencial para aprovechar las energías renovables, la tecnología ya está nuestro alcance, debemos poner nuestro granito de arena para mejorar las condiciones ambientales del planeta en el que habitamos y nuestros hijos vivirán, también debemos exigir a nuestros legisladores que impulsen políticas para promover el uso adecuado de energía renovables cumpliendo por supuesto con la políticas de confiabilidad.

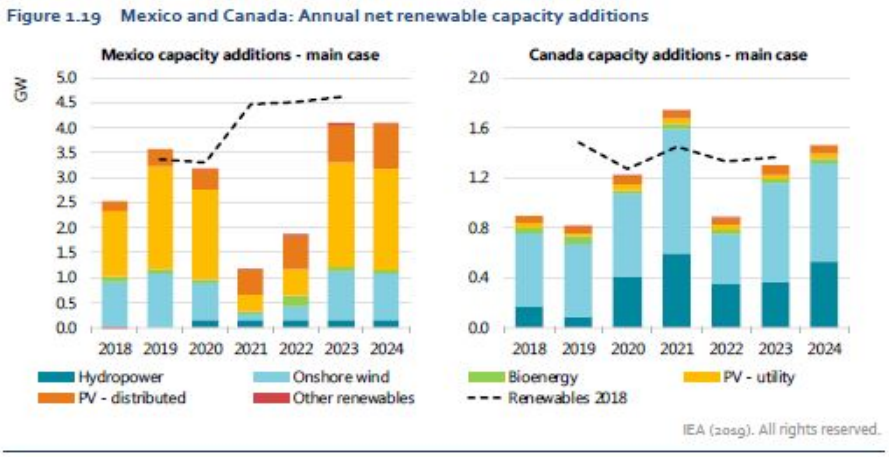


Figura 3. Incremento de Capacidad de energías renovables anualmente y su pronóstico en México y Canadá.
Fuente: IEA (Intenational Energy Agency), Analisys And Forecast 2024

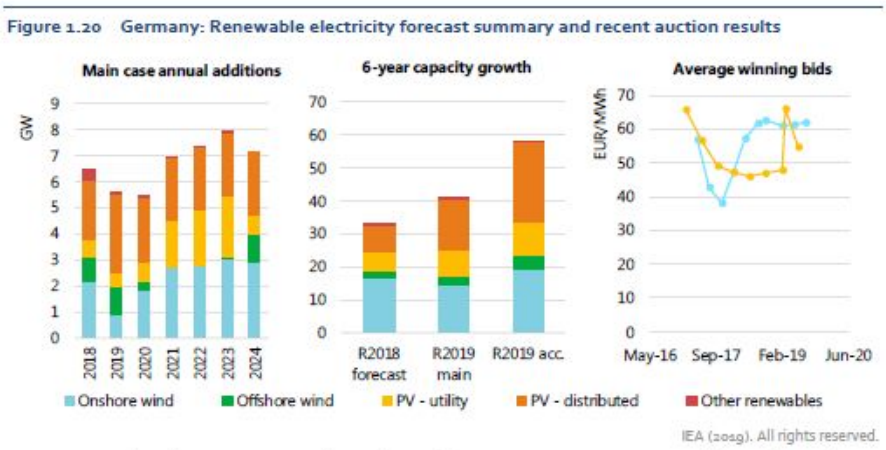


Figura 4. Incremento de Capacidad de energías renovables anualmente y su pronóstico en Alemania
Fuente: IEA (Intenational Energy Agency), Analisys And Forecast 2024

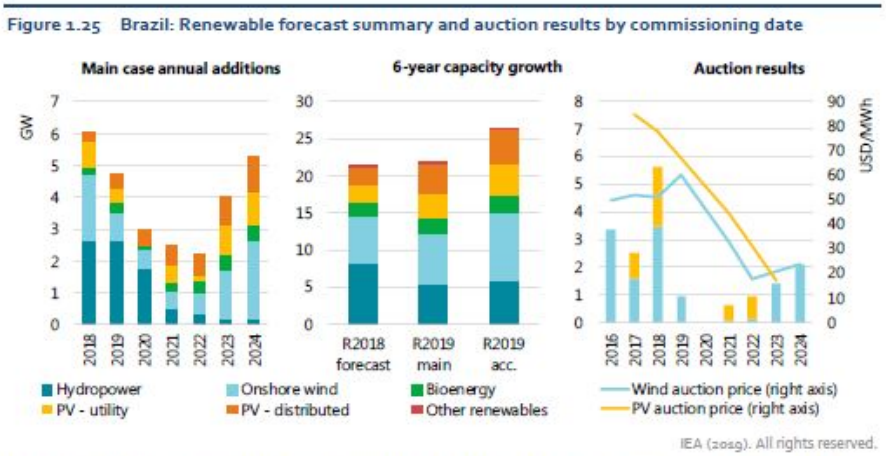


Figura 5. Incremento de Capacidad de energías renovables anualmente y su pronóstico en Brasil
Fuente: IEA (Intenational Energy Agency), Analisys And Forecast 2024

Proyecto Térmico Solar para Calentamiento de Agua en el Sector Hospitalario

Autor: Carlos Pérez Bracamontes

Glosario/Palabras clave:

Térmico solar, Generación de calor, industria, calentamiento solar, colectores solares, concentradores solares, flujo, accesorios, Retorno de inversión, ahorros, propuesta económica, diseño de proyectos, energías renovables, energías limpias, rentable, combustibles fósiles, radiación solar, campo solar, sostenible

La historia analizada en retrospectiva siempre parece algo obvio. Si se echa un vistazo al pasado, parece que solo había una forma en la que las cosas podían terminar, puesto que se conocen las circunstancias bajo las cuales todo se desarrolló. Sin embargo, es imposible predecir, en el presente, el desenlace que se convertirá en historia. Las tecnologías que aprovechan las energías renovables también son el caso. En los últimos años, la accesibilidad a este tipo de tecnologías se ha incrementado de forma que pocos hubieran imaginado.

En retrospectiva, se ve que la situación global demandaría la sustitución paulatina de los combustibles fósiles por algo que no comprometiera la salud del planeta. Además, el desarrollo de tecnologías incrementaba a pasos agigantados y la propuesta económica se tornaba particularmente atractiva, pues la manufactura de estos equipos se volvió masiva. De pronto, las inversiones en energías limpias se volvieron muy rentables.

No obstante, hoy, todo aquel que se involucre con el desarrollo o adquisición de este tipo de tecnologías, entrará a un mercado muy joven donde la oportunidad de emprender e innovar será parte del día a día.

Sistema térmico solar en el Hospital Santa María Chapalita

El hospital Santa María Chapalita está ubicado en Zapopan, Jalisco, y tiene cerca de 70 habitaciones. El consumo de agua caliente incluye servicios como el suministro a las habitaciones y lavandería, entre otros. En la actualidad se tenían calderas que con gas LP suministraban agua caliente a todas las instalaciones. Afortunadamente, en esta zona del país la radiación solar es abundante y vuelve los sistemas de aprovechamiento solar muy atractivos.

La energía solar es un recurso que está a la disposición de cualquiera y aprovecharlo puede significar ahorros considerables en las industrias y comercios. La generación de calor en el sector hospitalario es frecuentemente con calderas o generadores de agua caliente. Estos dispositivos representan una inversión significativa, sin embargo, lo verdaderamente relevante es el costo periódico del combustible consumido. A pesar del gran avance con respecto a la eficiencia de estos generadores de calor, hay un factor que no se debe perder de vista, ¡la luz solar es gratis! ¿por qué seguir usando tanto gas?

Existen múltiples tecnologías térmicas solares. Los datos más importantes para definir la tecnología apropiada para cada proyecto de generación de calor son la temperatura y el volumen de agua. Las instalaciones que requieren agua con temperaturas de entre 30 y 70°C; como era el caso de este hospital; la tecnología de colectores solares planos es ideal. En este proyecto, se utilizó el modelo Power Plate 2.0. La temperatura y el flujo de agua están en función de la configuración de los colectores solares: más equipos en serie representa mayor ganancia calorífica y mayor número de filas representa más flujo. Dicha configuración se define según el análisis energético. En este caso, se requirieron 82 equipos para poder entregar la cantidad de energía deseada, siendo el promedio 14,156 kWh mensuales.

Cuando se propone una solución térmica solar, se analiza el monto de inversión y se compara contra los ahorros en costos de combustible. En el caso específico del Hospital Santa María Chapalita, la demanda energética sería cubierta con 82 colectores solares planos (del tipo Power Plate 2.0) y el retorno de inversión simple del sistema se calculó que serían 2.37 años para un volumen diario de 14,000 litros elevando la temperatura del agua de 20°C a 42-55°C, dependiendo del mes. En otras palabras, si su consumo de agua caliente es constante, empezaría a acumular ahorros a partir de 2.37 años; pronosticando un ahorro de más de 17 millones de pesos en un plazo de 15 años (considerando un aumento anual de 15% en el combustible).

Para el almacenamiento de agua caliente se instaló un termotanque de 5,000 l. Se instaló un Sistema de Control (en este caso se utilizó el sistema Power Pumps SLL) que permite que el agua circule solo cuando hay radiación solar y un diferencial de
temperatura entre el agua almacenada y los colectores solares. También, una válvula mezcladora para enviar agua a una temperatura indicada.

Es importante recalcar que estas alternativas de generación de calor con energía renovable, no sustituye al 100% los combustibles fósiles, ya que los sistemas térmicos solares están a expensas de fenómenos climatológicos. Es decir, si hay días lluviosos o nublados, la entrega de calor quizá no sea la deseada. No obstante, como se dijo antes, utilizar combustibles solo cuando se necesita genera ahorros dignos de llamar la atención. Es por esta razón que el sistema térmico solar instalado en el hospital Santa María Chapalita se complementa con un sistema de respaldo conformado por intercambiadores de calor vapor-agua. De esta manera, cuando las condiciones del día no permitan que el campo solar entregue la temperatura deseada, se intercambiará calor utilizando vapor generado en calderas.

Retos del diseño y ejecución:

En la instalación del sistema térmico solar para el hospital Santa María Chapalita el acomodo y la distribución de los equipos representó un desafío, pues la configuración óptima de los equipos no podía ser lograda en el área disponible y existían muchos obstáculos; tales como aires acondicionados. Si la configuración ideal no se consigue se debe de contemplar la pérdida de eficiencia y asegurar que el flujo de agua a través de los equipos sea el adecuado para conseguir las temperaturas deseadas. El tema de los obstáculos en la azotea se solucionó en coordinación con el cliente instalando una estructura elevada.

La presión dentro del sistema, también, fue un aspecto a resolver. Las válvulas de seguridad instaladas en cada fila de colectores, utilizadas para evitar que los equipos no trabajen a una presión mayor a la recomendada, se estaban abriendo. Sucedía que, la suma de la presión dada por la bomba de campo solar y el hidroneumático que repone agua al sistema era lo suficientemente alta para liberar las válvulas de seguridad. Es decir, las soluciones se reducían a:

1. Sustituir toda la tubería por una con mayor diámetro.
2. Reducir el flujo de agua entregado por la bomba, sustituyéndola o instalándole un variador de presión.
3. Instalar un regulador de presión para disminuir la presión que llegaba a los equipos
4. Reducir la presión del hidroneumático
5. Cambiar las válvulas por otras con mayor capacidad

La sustitución de la tubería representaba altos costos y demasiado tiempo, al igual que cambiar las válvulas por otras de mayor capacidad. El regulador de presión involucraba tiempo, costos e ingeniería, esta intervención era poco deseable. Reducir la presión del hidroneumático no era opción debido a que es sistema alimenta a todo el hospital y no solo al sistema térmico solar. Por lo tanto, se optó por sustituir la bomba por una más pequeña, reduciendo así el flujo y, por ende, la carga total requerida a vencer. La bomba original se instaló en otro proyecto.

Una vez que el sistema estaba en operación, por alguna razón desconocida, la presión dentro del termotanque incrementaba cuando por la válvula mezcladora ingresaba agua caliente a 60°C-70°C. Para encontrar el motivo de esto, fue necesario visualizar el conjunto de sistemas hidráulicos en el hospital. Así fue como se identificó que la bomba de recirculación de las habitaciones provocaba un aumento de presión. Fue necesario, entonces, colocar un variador de presión que permitiera controlar la bomba recirculadora en función de la presión del termotanque. En otras palabras, aunque la bomba censara un consumo de agua en las instalaciones del hospital, no recircularía agua al termotanque ya que al utilizarse poca agua caliente para la mezcla, la presión dentro de este se mantenía casi igual.

Es importante considerar que el proyecto instalado en cualquier industria o comercio estará funcionando en conjunto con más sistemas. Dificultades o mal funcionamiento pueden presentarse y posiblemente la solución no solo involucra al sistema térmico solar. Debemos reconocer las instalaciones térmicas solares como parte de un conjunto de sistemas.

CONCLUSIONES DEL PROYECTO

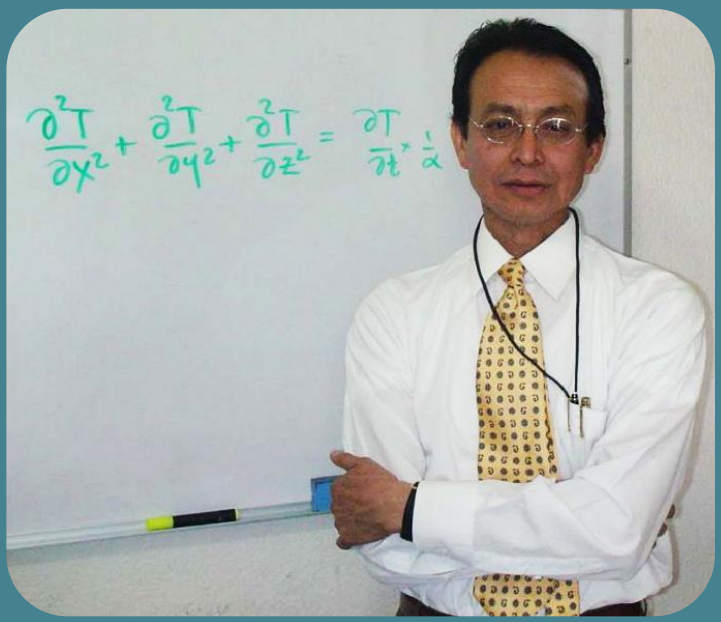
Actualmente el sistema está funcionando como se propuso. El volumen de agua diario, 14,000 l, se conserva a una temperatura mínima de 45°C y cuando el sistema solar no está entregando la energía deseada por días nublados, el sistema de respaldo conformado por calderas suministra vapor a dos intercambiadores de calor insertados al termotanque. La temperatura entregada al sistema va conforme a la predicción según al mes del año; en el mes de diciembre se estimaban 42.2° C debido a la radiación solar. El control automático nos permite monitorear remotamente y poder dar un tiempo de respuesta breve. Fue importante capacitar al personal responsable del mantenimiento del hospital, pues al final del día, son ellos los que estarán en contacto con el sistema y sus dispositivos de control.

Con el auge de soluciones sostenibles hay una gran oportunidad para innovar, hacer negocio y reducir el uso de combustibles fósiles. Es nuestra responsabilidad continuar promoviendo este tipo de tecnologías y dar confianza a las empresas de que la inversión en energías renovables nos beneficia a todos.

Ing. Alfredo Sánchez Flores

(1945-2007)

por Fernando Uriel Núñez Valencia



Originario de la Ciudad de México, estudió en el Instituto Politécnico Nacional la carrera de ingeniería mecánica en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Su trabajo como investigador y profesor del IPN marcó a decenas de ingenieros que siguieron sus pasos inspirados por su pasión y seriedad. Su legado en el área docente se resume en la impartición de decenas de cursos y materias a estudiantes de diversos niveles: Física Clásica, Física Moderna, Fisicoquímica, Termodinámica, Transferencia de Calor, Máquinas Térmicas, Instrumentación y Generadores de Vapor, entre otras. Fue pionero en la creación de normas técnicas en el campo de la energía solar y promotor incansable para la creación, traducción y aplicación de normas relativas a calderas y recipientes a presión.

Tuvo la iniciativa desde la ANES para realizar actividades en asuntos relacionados con las normas. logró que ANES desarrollara la Norma de Calentadores Solares NMX-ES001-NORMEX-2005. Gracias a esto, después de años de espera por parte de la industria solar mexicana, se publicó en el distrito federal la ley que obliga a ciertos establecimientos a usar captadores solares planos para cubrir esta necesidad y con ello reducir las emisiones contaminantes del ambiente que genera la quema de combustibles fósiles que hacen los calentadores de gas. Además, fue parte del grupo que desarrolló una norma de terminología para instalaciones solares.

Don Alfredo pasó sus últimos días conectado a un tanque de oxígeno, víctima del cáncer; sin embargo, esto no lo venció, él siguió trabajando, siempre proponiendo, siempre participando, y cuando su salud no se lo permitía estaba atento a su correo electrónico para revisar propuestas de proyectos y diversos asuntos.

Su legado no se quedó en cátedras en cuatro paredes y en apreciar a sus alumnos de una manera afable, sino que trascendió a la industria y al Gobierno al ser pionero en la normalización.

Fue un hombre incansable que no claudicó; luchó hasta el último día, nunca se venció, tenía ese deseo de continuar. Fue un hombre útil a la sociedad mexicana a través de su esfuerzo y su trabajo.

Visita el link:
https://www.yumpu.com/es/document/read/30241436/alfredo-sanchez-flores-asociacian-nacional-de-energa-a-solar

Entrevista a

ISAAC PILATOWSKY FIGUEROA

Expresidente ANES (1986 a 1988)

-Karla Cedano (KC) Hola: Estimado Dr. Pilatowsky, como sabes estamos haciendo entrevistas a expresidentes de la ANES. Queremos leer tus reflexiones sobre lo que es nuestra Asociación de cara al futuro. Así que, por favor, Platícame de la ANES.

Isaac Pilatowsky (IP): Anterior a mi gestión como expresidente, a finales de los setenta e inicio de los ochentas, a raíz del conflicto petrolero, se hicieron grandes inversiones en proyectos de investigación en energías renovables en el mundo y en México. En nuestro país hubo grandes desarrollos internacionales y nacionales en colaboración con Francia, Alemania y Estados Unidos, entre ellos cabe mencionar lo siguiente: el desarrollo tecnológico alcanzado en la ingeniería mexicana aplicada a la desalación de agua de mar y salobre con la planta desaladora solar en Puerto Peñasco, Sonora; posteriormente las primeras plantas de ósmosis inversa fotovoltaicas instaladas en el caribe mexicano y para el tratamiento de agua salobre en Concepción del Oro en Zacatecas (SORO), la adquisición de 17 plantas de bombeo termo solar que se instalaron en varios puntos del país en el Proyecto TONATIUH. El proyecto más importante se desarrolló en colaboración con la entonces República Federal de Alemania, el proyecto SOONTLAN; un desarrollo urbano de climatización solar de viviendas en la ciudad de Mexicali, Baja California Sur, y otro rural para apoyo a la producción pesquera de la comunidad de Las Barrancas, California Sur, en donde participé como responsable técnico por parte del entonces Instituto SEDUE.

En fin, han sido innumerables los proyectos de energías renovables realizados en esas décadas, que coinciden además con la creación de la ANES del Departamento de Energía Solar en el Instituto de Investigación en Materiales, así como el inicio de la construcción del Laboratorio de Energía Solar en Temixco, Morelos y la Puesta en Marcha de la Maestría en Energía Solar en sus dos Opciones: Fotovoltaica y Térmica así como la Especialización en Heliodiseño.

Esta década fue importante porque se generaron grupos de trabajo en diferentes Universidades, teniendo la fortuna de haber presenciado y participado en algunos de ellos, en particular, junto con el Dr. Roberto Best y Brown y el Dr. Gabriel Olalde Quintanar y otros estudiantes, quienes iniciamos en 1973, las actividades de energía solar en el Instituto de Investigaciones en Materiales, de la UNAM.

KC: ¿Cuánto tiempo tenías de haber terminado el doctorado?

-IP: Mi doctorado lo realice en el Laboratorio de Energía Solar del Centro Nacional de Investigación Científica (CNRS por sus siglas en Francés) de Francia. Me incorporé en 1979, ya se había creado el Departamento de Energía Solar, y colaboré con el Dr. Manuel Martínez en el proyecto de Laboratorio de Energía Solar (LES) y en diseñar e instrumentar el proyecto paralelo de creación de la maestría en Energía Solar y especialización en el Heliodiseño, el cual fue aprobado por consejo Universitario cinco años después, en 1986 e inicio de actividades en 1987. Y que posteriormente evolucionó después de varias adecuaciones a lo que es ahora el actual Posgrado en Ingeniería en su opción Energía.

Entonces, un año después en 1980 se crea la ANES. Los argumentos de creación y las metas por alcanzar me motivaron a brindar todo mi apoyo para el logro de sus objetivos, como la promoción y divulgación de las actividades de investigación, desarrollo tecnológico, formación de recursos humanos, fomento a la industrialización y comercialización. Así como crear un foro nacional para el intercambio de experiencias y apoyo al desarrollo de las energías renovables en las diferentes regiones del país.

-KC: Respecto a nuestra Asociación ¿qué somos, en dónde estamos y hacia dónde vamos? Un ejercicio de una crítica constructiva, podrá ayudarnos a crecer, adaptarse a los tiempos, no sólo poner otra persona con el perfil que queremos, sino qué es ANES y a dónde queremos ir.

-IP: Una de las grandes fortalezas de la ANES era su carácter nacional, su presencia en muchas entidades enriquecían a la Asociación. Las secciones regionales, eran estatales, y financieramente eran libres de generar sus propios recursos, a través de cursos o actividades de asesoría, siempre había una estrecha vinculación con los comités directivos. Los presidentes regionales estaban invitados a asistir a la Semana Nacional a presentar su informe y programas de actividades. Allí comunicaban el tipo de problemas a los que se enfrentan y qué tipo de apoyo necesitaban para ayudar a resolverlos. En la actualidad son muy pocas las secciones regionales que subsisten y en ellas existe el reclamo de la falta de comunicación entre ellas y los comités directivos, además se desconoce la existencia de un programa para impulsar a la ANES en un ámbito de integración nacional. Cabe mencionar que a pesar del número importante de investigadores dedicados a la investigación y desarrollo de las energías renovables no se a contado con una sección estatal.

La asociación y colaboración con instituciones de enseñanza superior en la organización de las semanas nacionales, nos permitía tener una sede natural, en donde interaccionábamos con profesores e investigadores, así como con otras instituciones locales como universidades privadas e institutos tecnológicos. Se impartían cursos gratuitos de energías renovables y en el tema solar: la capacitación en radiación solar, captadores solares, refrigeración, secado, destilación, celdas, celdas solares sistemas fotovoltaicos, sistemas pasivos de climatización y arquitectura, entre otros, se editaban los cursos, y complementariamente se hacían eventos: como ciclos de conferencias y exposición de equipos y en ocasiones de desarrollaban concursos de dispositivos solares.

Han sido muy importantes e invaluables las labores realizadas por los comités directivos en la vinculación con el sector productivo y comercial, su presencia en foros internacionales, con propuestas de programas de formación empresarial, sin embargo, además de esta meta, han existido muchas más que se han dejado a un lado.

La ANES es una asociación creada para todos cuya labor social debe ser prioritaria, y deberá llevar una actividad equilibrada, retomando los objetivos y metas que dieron origen a su creación, y tratar de recuperar a los muchos asociados que han olvidado el ímpetu y entusiasmo de su primera participación.

Será motivante la presencia de los expresidentes en los eventos relevantes, intensificar y consolidar la presencia nacional, promover en todos las entidades del país la creación y crecimiento de las secciones estatales, hacer una plataforma para la impartición de cursos presenciales y virtuales, participar en la formación de redes temáticas nacionales e internacionales, ofrecer su experiencia a instituciones gubernamentales, seguir editando con patrocinios externos los cursos y los eventos más relevantes y, sobre todo, abrir la mente a nuevas ideas y propuestas que coadyuven al logro de los objetivos y metas.

Todo lo anterior solo será posible con la participación, no solo de los comités directivos sino de cada uno de nosotros que seguimos deseando lo mejor para nuestra asociación, dar cabida a todas las ideas y propuestas que ayuden a restaurar a nuestra Asociación, como fue el ideal de 1980. Entre otras propuestas, la creación del premio nacional de las energías renovables, que podría ser un motor que impulse este desarrollo y así reconocer los esfuerzos y trabajos cuya contribución ha sido trascendental .

Por lo tanto, el problema es no redefinir a nuestra asociación, simplemente recordar y revivir los motivos de creación, conservar lo vigente y eliminar las barreras que impidan su evolución. Sería importante convocar a una Asamblea General extraordinaria fuera del marco de la Semana Nacional y proponer una agenda de trabajo orientada a coadyuvar a la resolución de los asuntos internos que competen a nuestra Asociación, creando un foro de opinión e intercambio de propuestas.

-KC: Yo creo que ese es un buen punto que podemos aprovechar de la experiencia, de las ganas y, además, tu pasión por educar niños y juventud. Con ellos hay que empezar, para que tengan una conciencia sustentable y renovable desde pequeños.

-IP: Coincido totalmente contigo.
Otra área olvidada que quizás no aparece como una meta específica de ANES es su participación en la información y formación de las energías renovables, en el sector de la educación básica, en particular la solar, en donde se tiene una mayor conocimiento y experiencia. Considero que esa aquí donde debemos destinar nuestros mayores esfuerzos y establecer comunicación con niños y adolescentes sedientos de saber y sensibles a la problemática ambiental.

Queda mucho por hacer y proponer para la realización de material didáctico adecuado para la enseñanza y la aplicación de las energías renovables, He participado en algunos proyectos demostrativos y tuve una experiencia, en Temixco, en un Jardín de niños.

Asimismo, hemos tenido experiencia con niños de secundaria. Hicimos una práctica de secado solar y un concurso de relojes solares, había 5 diseños diferentes, por lo que cada equipo elegía uno y los presentaban.

Estoy convencido que hay un gran camino por recorrer para llevar el aprovechamiento de la energía solar a todos los niveles educativos y poner la semilla para que los futuros dirigentes y constructores del país tengan en mente un mejor aprovechamiento de nuestros recursos energéticos y la conciencia de conservar nuestro ambiente para las futuras generaciones.

Deberiamos de proponer el solsticio de verano , el 21 de junio como el día internacional del sol, dado que es el día más largo del año con mayor radiación solar incidente. En donde se realizarían muchos eventos relacionados con el aprovechamiento de esta fuente renovable de energía.

ANES®
Asociación Nacional de Energía Solar

Somos la asociación con **más tradición en México** para la promoción, divulgación, desarrollo, enseñanza y capacitación en **materia de energías renovables.**

Para más Información visita: **anes.org.mx**

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SEGUIDORES SOLARES DE 2 EJES PARA LA INDUSTRIA SOLAR MEXICANA DE CONCENTRACIÓN FOTOVOLTAICA

Ricardo Rodriguez-Carvajal[a] , Rafael García Gutierrez[b], Christian Dávila Peralta[b], José Ramiro Fuentes Lara[a], Rafael Enrique Cabanillas Lopez[b], Carlos Perez Rabago[c].

Universidad de Guanajuato, Universidad de Sonora, Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN

La presente contribución presenta el proceso de diseño y la construcción de prototipos de seguidores solares en dos modelos: un eje norte sur y dos ejes altazimutales. Analiza el proceso de diseño siguiendo la metodología propuesta por trabajos anteriores, y describe los dispositivos que emergieron del proceso de diseño. También se presentan un estudio de costo beneficio basado en el pronóstico de ganancia al compararlo con sistemas fijos, y un estimado del costo al cliente en producciones pequeñas de 5 a 20 seguidores.

INTRODUCCIÓN

El principal objetivo que debe cumplir un seguidor solar es alinear permanentemente el eje de apuntamiento del sistema fotovoltaico con el vector solar local, de manera que se produzca el mayor salida de potencia [1]. Aunque el seguidor solar puede incrementar la ganancia de energía de un arreglo fotovoltaico, en su instalación hay algunos problemas como el costo, la fiabilidad, el consumo de energía, mantenimiento y desempeño, los cuales deben tomarse en cuenta [2].

Para el dimensionamiento del seguidor solar, las cargas de viento son decisivas y por eso deben conocerse lo más precisamente posible [3]. La caracterización de las condiciones de operación para un seguidor de concentración consiste, básicamente, en ajustar o establecer un valor para la velocidad máxima de viento que hay que soportar durante la operación de seguimiento. Entre mayor sea esta velocidad, más pesada y más costosa será la estructura requerida para mantener las deformaciones por debajo de un nivel necesario para un seguimiento preciso. Una aproximación barata y eficiente es determinar la llamada máxima velocidad de viento en operación (MSWS, por sus siglas en inglés) mediante una correlación cruzada entre la velocidad de viento y la radiación solar directa, en la locación o grupo de locaciones en los cuales se planea comercializar e instalar los seguidores. Cuando la velocidad de viento esté por arriba de este valor, las especificaciones de rigidez no tienen que ser cumplidas y el seguidor puede cambiar a modo de protección, o sea, una posición en la que el arrastre del viento se disminuya.

Existe una gran cantidad de tipos de mecanismos de seguimiento solar, algunos expuestos en la literatura como propuestas de diseño y otros disponibles comercialmente. Mousazadeh [2] analizó los principios y los métodos de seguimiento solar para maximizar la potencia de salida de los sistemas solares, encontrando que las arquitecturas más populares y eficientes de seguimiento son los de eje polar y los altazimutales.

Los seguidores solares han sido clasificados tradicionalmente en dos categorías: los seguidores pasivos (mecánicos) y los seguidores activos (electromecánicos). Los seguidores pasivos se basan en la expansión térmica de un gas (típicamente argón) o en aleaciones con memoria. Normalmente este tipo de seguidores se compone de un par de actuadores encontrados donde si la radiación es igual en ambos, el mecanismo es balanceado, pero si la radiación es diferente, el sistema se desbalancea provocando el movimiento de su superficie colectora hasta que la radiación sea equitativa, para detener el movimiento. Estos seguidores son menos complicados pero trabajan con bajas eficiencias, y en bajas temperaturas dejan de funcionar. Aunque los seguidores pasivos son más económicos que los seguidores activos, no han sido bien aceptados por el consumidor [2].

METODOLOGÍA

La metodología empleada fue obtenida de trabajos anteriores [5] para el diseño de seguidores solares para paneles de concentración. Se utilizaron técnicas de vigilancia tecnológica y búsqueda del estado de la técnica para estudiar los diseños hechos con anterioridad. Se utilizó software de simulación para estudiar el arrastre de viento en el diseño, y software de análisis estructural por elementos finitos para determinar los esfuerzos y deformaciones involucrados en la estructura metálica, utilizando como base los escenarios propuestos por Peterka y Derickson [4].

RESULTADOS

Consideraciones preliminares

Como consideraciones preliminares para el diseño del seguidor solar se consideraron los siguientes puntos:

1. Se considera como un diseño ideal aquel que cumpla las especificaciones de peso de la estructura por metro cuadrado planteadas por Angel de 23 kg/m2 de colector (Angel, R., Cuerden, B. y Whiteside, A. 2014. Lighweight dual-axis tracker designs for dish-base HPCV).
2. La velocidad máxima en posición de protección y la velocidad máxima de operación será de 39 y 11 m/s respectivamente, como lo recomendado por Luque-Heredia (Luqe-Heredia, I., Quémére, G., Cervantes, R., Laurent, O., Chiappori, E., y Ying-Chong, Jing. (2012). 'The Sun Tracker in Concentrator Photovoltaics', en Cristóbal López, A.B., Martí Vega, A., y Luque López, A. (eds), Next Generation of Photovoltaics, Springer Series in Optical Sciences, 165, pp. 61-93).
3. Las pérdidas en el ángulo de aceptación causadas por la deformación deberán ser menores a un tercio del ángulo de aceptación del arreglo óptico $\Theta = \pm .75°$ (Coughenour, B.M., Stalcup, T., Wheelwright, B., Geary, A., Hammer, K. y Angel, R. (2014) Dish-based high concentration PV system with Khöler optics. Optical society of America, 22.)
4. Se buscará diseñar un dispositivo novedoso con posibilidades de obtener alguna figura de protección a la propiedad industrial.
5. Prioridad a la reducción de costos.

Propuestas de configuraciones

Se analizó las posibilidades de configuraciones de arreglos fotovoltaicos considerando la cantidad de módulos por seguidor, la potencia de salida, el costo del seguidor y las medidas. La información resumida se presenta en la siguiente tabla:

Número de Unidades	***8***	***9***	***12***	***12***
Potencia pico	6400 W	7200 W	9600 W	9600 W
Arreglo sugerido (b*h)	4 x 2	3 x 3	4 x 3	6 x 2
Medidas	6.6 x 3.3	4.95 x 4.95	6.6 x 4.95	9.9 x 3.3
Aspect	Rectangular	Cuadrada	Rectangular	Rectangular
Aspect Ratio	2	1	1.33	3
Inversor (SMA)	SB 6000-US*	SB 7000-US*	SB 8000-US*	SB 8000-US*
Costo inversor (FOB DLLS)	$ 3,095.00	$ 3,099.00	$ 2,699.00	$2,699.00
Costo espejos y PSU (FOB DLLS)	$ 100,000.00	$ 112,500.00	$ 150,000.00	$ 150,000.00
Transmisión Azimuth	PE9 (RTR)	PE9 (RTR)	PE9 (RTR)	SA5524C900 (JD)
Costo trans. Azim. (FOB DLLS)	$ 665.00	$ 665.00	$ 665.00	$ 665.00
Transmisión Elevación	SA5524C450 (JD)	SA5524C600 (JD)	SA5524C900 (JD)	SA5524C900 (JD)
Costo trans. Elev. (FOB DLLS)	ND	ND	$ 230.00	$ 230.00

Tabla 2. Análisis preliminar de arreglos y configuraciones por cantidad de unidades de potencia por seguidor.

Se concluye que la configuración más conveniente es la de 12 unidades, por lo que se presentan dos propuestas de seguidores solares utilizando dicha configuración.

La primera propuesta es llamada “Seguidor Polar”, por el tipo de movimiento que utiliza para posicionar el eje del concentrador en dirección al sol. Utiliza dos actuadores lineales para accionar a los 12 concentradores, posicionados como un arreglo de 6 x 2 módulos de potencia y soportados por una estructura metálica, como se muestra a continuación:

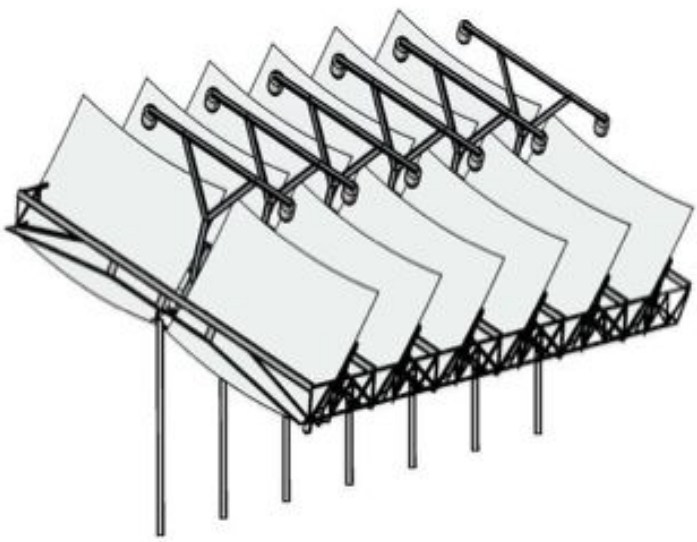


Ilustración 5. Vista isométrica de propuesta de “Seguidor Polar”

Las características principales del mecanismo se describen a continuación:

Número de concentradores	12
Peso total de la estructura metálica	1142 kg
Grados de libertad	2
Ángulo máximo de giro sin sombreado	120°
Rango de ángulo de elevación	15 – 90°
Mecanismo para movimiento de giro	Actuador lineal SA5524C900 (Joyce Dayton) y mecanismo de 4 barras.
Mecanismo para movimiento de elevación	Actuador lineal SA5524C900 (Joyce Dayton) y desaceleradores hidráulicos WM-Z7-100-K4G4-C (Weforma).
Material de fabricación	Acero estructural A36, acabado galvanizado.
Cimentación	Anclaje de pilote simple con tubular rectangular

Tabla 3. Características técnicas de Seguidor Polar V 1.0

La segunda propuesta es llamada "Seguidor Altazimutal", por el tipo de movimiento que utiliza para posicionar el eje del módulo de potencia en dirección al sol. Utiliza un mecanismo lineal para proveer el movimiento de elevación, y un mecanismo "sin-fin corona" (conocido como slew-drive en inglés) para proveer el mecanismo de azimut. Los dos mecanismos accionan un arreglo de 12 concentradores dispuestos en una configuración de 4 x 3 módulos de potencia, soportados por una estructura metálica como se muestra a continuación *(Ilustración 7)*:

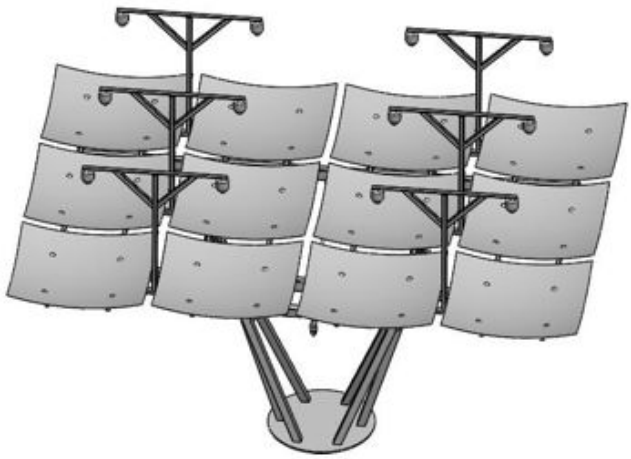


Ilustración 7. Vista isométrica de propuesta de seguidor altazimutal.

Las características principales del mecanismo se describen a continuación:

Número de concentradores	12
Peso total de la estructura metálica	880 kg
Grados de libertad	2
Ángulo máximo azimut	360
Rango de ángulo de elevación	15 – 90°
Mecanismo para movimiento de giro	Slew drive PE9 (RTR).
Mecanismo para movimiento de elevación	Actuador lineal SA5524C900 (Joyce Dayton) y desaceleradores hidráulicos WM-Z7-100-K4G4-C (Weforma).
Material de fabricación	Acero estructural A36, acabado galvanizado.
Cimentación	Anclaje estructural en X, repartido con anclas.

Tabla 4. Características técnicas de Seguidor Altazimutal V 1.0.

ENSAMBLE DEL SOPORTE Y LOS ESPEJOS DEL CONCENTRADOR EN PSH

El ensamble de las estructuras de los seguidores solares fue realizado en varias etapas. La primera fue la fabricación y ensamble de los componentes mecánicos en el taller de soldadura, donde se realizaron ajustes y depuraciones a los diseños. Las mejoras incluyeron cambios a los elementos mecánicos, ajuste de sistemas para la inclusión de sensores, adaptación de actuadores y sistemas de montaje de espejos. La imágenes 2 y 3 muestran los seguidores ensamblados y operando en las instalaciones de la empresa Manufactura y Servicio SOGO Hermosillo.

Estos seguidores diseñados y fabricados por ingenieros y científicos mexicanos se instalaron en la Plataforma Solar de Hermosillo de la Universidad de Sonora, donde están de manera demostrativa a disposición de poder conocer esta tecnología. Para su instalación se consideraron para la instalación la red eléctrica, la construcción de cimentación, el ensamble de las unidades de seguimiento, el ensamble de las unidades de concentración, la integración del sistema de refrigeración y la adecuación del sistema de control.

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL SEGUIMIENTO SOLAR

Para el sistema de control, se diseñó y construyó un sistema SCADA basado en un PLC Siemens de la línea S7-1200, que cuenta con un módulo de comunicación RS-485 el cual tiene la capacidad de comunicarse con las unidades de concentración de potencia (PCU). El sistema cuenta además con un circuito de control de velocidad bidireccional para dos motores eléctricos, sistemas de alimentación de energía, botones de paro de emergencia y control manual, así como indicadores lumínicos para reportar el estatus del seguidor. El sistema cuenta además con un anemómetro incluido para conocer la velocidad del viento, como un sistema de prevención de daños causados por ráfagas de viento. El PLC tiene capacidad de conectarse mediante Ethernet a la red, de manera que su operación pueda ser controlada remotamente, formando el sistema SCADA. El sistema de control se muestra en las siguientes imágenes.

CONCLUSIÓN

Los costos de construcción del prototipo están muy cercanos al costo meta, el cual se calcula multiplicando la ganancia por el costo total de un proyecto llave en mano de una instalación fotovoltaica con la misma potencia. Se han realizado trabajos de optimización de los materiales y del sistema de control, sin embargo el siguiente concepto a atacar son de los costos de cimentación, en el cual existe una importante oportunidad de reducción de costos.

Se pudo demostrar y mostrar las capacidades de desarrollo tecnológico por las Universidades, con estos casos se busca generar la confianza por parte del sector empresarial de energía solar, para poder acompañar proyectos de ingeniería y fabricación de alta tecnología.

BIBLIOGRAFÍA

1. Luqe-Heredia, I., Quémére, G., Cervantes, R., Laurent, O., Chiappori, E., y Ying-Chong, Jing. (2012). 'The Sun Tracker in Concentrator Photovoltaics', en Cristóbal López, A.B., Martí Vega, A., y Luque López, A. (eds), Next Generation of Photovoltaics, Springer Series in Optical Sciences, 165, pp. 61-93.
2. Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K. y Sharifi, A. (2009) A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13. pp 1800 - 1818.3 (Pfahl, Buseleier y Zaschke, 2011).
3. Peterka, J.A. & Derickson, R.G. (1992) Wind load design methods for groud based heliostat and parabolic dish collectors. Sandia National Laboratories. SAND92-/009.
4. Davila, C. (2016) Diseño de seguidor solar para sistema de alta concentración, con arreglo parabólico y óptica de köhler. Tésis de maestría. Universidad de Sonora.

P2X Y EL HIDRÓGENO VERDE EN MÉXICO

José Alfredo Alfaro Benitez [1], Judith Mendez Zárate [1], Iván Alonso Jurado [1], Juan José Ambriz García [2]

[1]Estudiantes de Ingeniería en Energía, [2]Coordinador del posgrado en Energía y Medio Ambiente Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa

alfaro.evir@gmail.com; judithmendez0698@gmail.com; ivnalju@gmail.com; agj@xanum.uam.mx

RESUMEN

Los elevados costos de la electricidad producida por las fuentes de energía renovables históricamente las relegaron a limitarse a nichos específicos o a necesitar de subsidios para poder ser competitivas. Esta situación ha cambiado, y el factor limitante ya no es su costo sino su intermitencia y dependencia de abundante recurso solar o eólico. Para poder superar estas limitantes se hace necesario incorporar soluciones innovadoras que permitan aprovechar las fluctuaciones naturales de estos recursos. Para ello se propone el empleo de las tecnologías del *Power-to-X* (P2X) para la producción de hidrógeno verde, un vector energético que además de poder ser empleado como combustible tiene usos industriales que lo hacen valioso especialmente para las industrias química y petroquímica. En este artículo se hace un análisis de un esquema de generación de hidrógeno verde en P2X.

INTRODUCCIÓN

La demanda cada vez mayor de energía y recursos naturales está poniendo al planeta bajo un estrés insostenible que, de no ser controlado, conducirá a una serie de cambios climáticos y medio-ambientales que transformarán nuestras vidas negativamente.

Las energías renovables como la solar y la eólica se presentan como una magnífica oportunidad para frenar este problema, sin embargo, por si mismas no serán capaces de dar solución al dilema energético y medio-ambiental, pues presentan desafíos y limitaciones propias, como, su intermitencia y localización, dado que con frecuencia son más abundantes en regiones alejadas de las zonas urbanas e industriales donde se aprovechará la electricidad que generan. Por ello, representan un desafío considerable para la red de transmisión.

Una alternativa novedosa es emplear las tecnologías del llamado P2X que, consisten en emplear el excedente de generación para la producción de combustibles o vectores energéticos en los que la energía pueda almacenarse para un uso posterior.

Los principales vectores que han sido considerados son el hidrógeno, metanol, amoniaco y combustibles como diésel o metano sintéticos. Por su origen renovable se le conoce como *hidrógeno verde*, a diferencia del *hidrógeno azul* que se obtiene a partir del gas natural, pero se captura el carbón liberado. El hidrógeno verde sólo emplea agua y electricidad para llevar a cabo la hidrólisis, sin embargo, la demanda eléctrica necesaria para obtenerlo es elevada, lo que condiciona a las tecnologías del P2X a un costo bajo de la electricidad.

Según un análisis reciente del costo nivelado de la energía *(levelized cost of energy, LCOE)*, la energía eólica no subsidiada ya es competitiva con las centrales eléctricas de ciclo combinado en una base de costo por MWh generado, mientras que los módulos fotovoltaicos más modernos también lo son en regiones soleadas (como es gran parte del territorio mexicano) (Lazard, 2019). Sin embargo, el factor de intermitencia y, por lo tanto, el valor de la energía no se considera en la evaluación del LCOE. Si bien, es importante mencionar que tampoco se consideran los daños materiales y a la salud que tiene la extracción, transporte y combustión de combustibles fósiles.

Por estas razones resultaría beneficioso plantear una estratégica energética en la que a la par del desarrollo de fuente energéticas renovables, se incorpore la síntesis de hidrógeno y posiblemente también de metanol y amoniacos verdes. Esto se puede hacer con menor costo mediante la integración de su producción con las industrias existentes y utilizando la mayor cantidad de infraestructura existente posible. Una integración de esta clase permitiría:

1. Crear una vía escalable para que las energías renovables aumenten su contribución al mix energético evitando que desestabilicen la red al mitigar sus principales desventajas: la intermitencia y la transmisión.

2. Contribuir a la paulatina descarbonización del sector transporte, particularmente el transporte de carga, mediante el uso de hidrógeno verde directamente o tras ser empleado para sintetizar amoniaco o metanol verde. Este último puede emplearse como combustible directamente o como aditivo de combustibles como Gasolina o Biodiesel.

PROPUESTA

Para lograr incorporar las tecnologías del P2X sería adecuado implementar un plan de desarrollo integral que considere los siguientes aspectos:

Fuentes renovables de energía.

La tecnología está lista y es rentable por sí misma, además México tiene un territorio con gran potencial para su empleo, ya que gran parte de él recibe al menos 5kWh/m^2 y regiones como el Istmo de Tehuantepec todavía tienen mucho potencial eólico sin explotar. En este último se tienen velocidades del viento promedio superiores a 9 m/s a 100 m de altura y densidades medias de potencia superiores a 1,3Kw/m^2 por metro cuadrado. Estas condiciones se presentan no solo en grandes extensiones de tierra firme, sino también en una parte considerable del mar dentro de la plataforma continental que, aunque rocosa, es relativamente poco profunda. El Istmo, tienen el potencial de albergar grandes parques eólicos terrestres y marinos. Además, los parques solares y eólicos existentes pueden incorporar tecnología que les permitiría producir hidrógeno verde.

La tecnología ya existe, sin embargo, debe ser mejorada e implementada en gran escala para hacerla rentable, de manera que sea posible una gradual integración vertical. Existen numerosos estudios de factibilidad de las fuentes renovables de energía, pero sí se desea que sigan creciendo, deben acoplarse a sistemas de baterías o tecnologías P2X para así garantizar la estabilidad del sistema eléctrico nacional.

Hidrólisis

La posibilidad de integrar la producción de hidrógeno verde con la industria química, petroquímica, cementera, metalúrgica e incluso de energía eléctrica convencional, utilizando directamente el calor residual industrial. El hidrógeno y el oxígeno obtenidos por electrólisis se pueden utilizar en el sitio como materias primas o pueden ser vendidas como materias primas neutras en carbono. La electrólisis del agua rentable aún no es una realidad, sin embargo, existen tecnologías prometedoras que podrían cambiar eso a mediano plazo y si la electricidad proviene de fuentes de energía renovables, la operación es prácticamente neutra en carbono. En su conjunto, el proceso consiste esencialmente en la conversión de energía eléctrica en química almacenándola en un portador de energía H_2 con oxígeno molecular como subproducto útil. A 25 ° C y 1 bar (condiciones estándar) esto se expresa como:

$$H_2O + \left[237.2\frac{kJ_{(electricos)}}{mol} + 48.6\frac{kJ_{(calor)}}{mol}\right] \rightarrow H_2\,(g) + \frac{1}{2}O_2\,(g)$$

A temperaturas factibles, se necesitan tanto energía térmica como eléctrica para la disociación del agua. Dado que el costo de la electricidad es el principal costo de operación (OpEx), es muy relevante que se trate de una reacción fuertemente endotérmica, no espontánea, lo que significa que se tiene una batalla cuesta arriba por delante. Para su aplicación a nivel industrial existen tres tecnologías de electrólisis que podrían emplearse razonablemente en el corto y mediano plazo (*Tabla 1*):

Celdas de electrólisis alcalina (AEC). Es la tecnología más madura; es duradera (hasta 100.000 h) y ofrece costos de capital relativamente bajos debido a que no necesitan metales raros. Sin embargo, los tiempos de puesta en marcha, la entrada de energía variable, la baja densidad de corriente y la presión de funcionamiento son claras debilidades de esta tecnología. No obstante, existe desarrollo centrado en aumentar la densidad de corriente y la presión operativa, así como diseños mejorados para la operación dinámica (Zheng, 2010). Se espera que la mayoría de las reducciones de costos impulsadas por economías de escala (Steinmüller, 2014).

Células de electrólisis de membrana de intercambio de protones (PEMEC). Estos sistemas utilizan un electrolito de polímero sólido; se desarrollaron en los años 60 para hacer frente a los inconvenientes de AEC. Sus principales ventajas son una mayor densidad de potencia, una mayor salida de presión de hidrógeno de alta pureza, así como una mayor eficiencia junto con tiempos de puesta en marcha reducidos, lo que lo hace prometedor para su uso con fuentes de energía renovables intermitentes. Sin embargo, los componentes son costosos, el sistema es considerablemente más complejo y tiene una vida útil más corta. Los desarrollos recientes apuntan a utilizar materiales menos costosos y procesos de fabricación de pilas (Lehrer, 2014).

Celdas de electrólisis de óxido sólido (SOEC). Es la tecnología más reciente y aún no se ha implementado comercialmente, pero se está probando a nivel industrial. En particular, el proyecto GrInHy de electrólisis de alta temperatura (HTE) probó la viabilidad de la tecnología durante 36 meses en forma de un prototipo integrado con una planta de hierro y acero en Alemania (GrInHy, 2020). Su principal ventaja radica en la alta eficiencia eléctrica posible gracias al uso de altas temperaturas obtenidas del calor residual de procesos industriales. Además, los costos de los materiales son menores que los de PEMEC y la celda también se puede operar como celda de combustible o en modo de co-electrólisis para producir gas de síntesis ($CO + H_2$) a partir de vapor de agua y dióxido de carbono (Schmidt, 2017). Sin embargo, las altas temperaturas (>500°C) conducen a la rápida degradación de los materiales del sistema, lo que lleva a una vida del sistema inaceptablemente baja.

Tabla 1. Características clave de los sistemas AEC, PEMEC y SOEC.
Elaboración propia a partir de: (Steinmüller H, 2014), (O. Schmidt, 2017)

	AEC	PEMEC	SOEC
Temperatura de operación [°C]	60-80	50-80	650-1000
Tasa de producción [m^3_{H2} h^{-1}]	<760	<40	<40
Demanda eléctrica [kWh_{el} / m^3_{H2}]	4.5-6.6	4.2-6.6	>3.7
Tiempo de respuesta	Segundos	Milisegundos	Segundos
Tiempo de arranque [min.]	<60	<20	<60
Tiempo de vida (h)	<100 000	<50 000	<5 000
Costo de capital [Euro Kw^{-1}_{el}]	1000-1200	1860-2320	>2000
Madurez	Madura	Comercial	Demostración

Hidrógeno y oxígeno verdes

La producción *in situ* de ambos se puede rentabilizar más fácilmente en las condiciones actuales del mercado al aprovechar los precios más bajos de la electricidad de las energías renovables durante las horas de baja demanda. Por el contrario, la producción de metanol verde se encuentra en una etapa más temprana de desarrollo y, por lo tanto, la falta de un esquema sólido de comercio de emisiones o impuestos al carbono hace que actualmente no sea rentable. Sin embargo, a largo plazo, los beneficios indirectos para la salud y el medio ambiente lo justifican.

El costo principal es el debido a la energía eléctrica, y es probablemente el principal limitante. La estimación de la Agencia Internacional de energía, IEA, considera un costo de energía renovable para las mejores ubicaciones de 40 USD/MWh (IEA, 2019) que es un precio excelente para el mercado europeo y, sin embargo, en el mercado mexicano a menudo se ven costos aún más bajos, lo que hace más atractiva la inversión. El costo de la electricidad depende en gran medida del tiempo y el lugar; por lo tanto, lo ideal es implementar la producción en regiones con alto potencial de energías renovables a bajo costo. También se debe tener en cuenta que los precios de la electricidad en verano suelen ser más altos, pero también pueden aprovecharse que los precios en la noche son menores y aunque el sol no lo permite, los aerogeneradores pueden continuar funcionando.

El otro elemento clave es considerar los usos del hidrógeno y, por lo tanto, los usuarios potenciales. Según la IEA los procesos que más demandan hidrógeno en la actualidad, son: refinación del petróleo (33%), producción de amoniaco (27%), producción de metanol (11%). Por lo tanto, en México, el mayor usuario potencial de hidrógeno verde y oxígeno sería Pemex, específicamente en sus refinerías y plantas de producción de amoníaco y metanol. Es importante considerar que el hidrógeno es corrosivo, volátil además de que su almacenamiento y transporte son costosos, por lo tanto, su sitio de producción idealmente debe estar cerca de su industria de uso final, de manera similar, la producción de hidrógeno debe ubicarse cerca de fuentes de energía renovables, de lo contrario, los costos de transmisión de electricidad aumentarían. En la *Figura 1* se presenta un estimado de los costos de producción de Hidrógeno en Europa en el 2030.

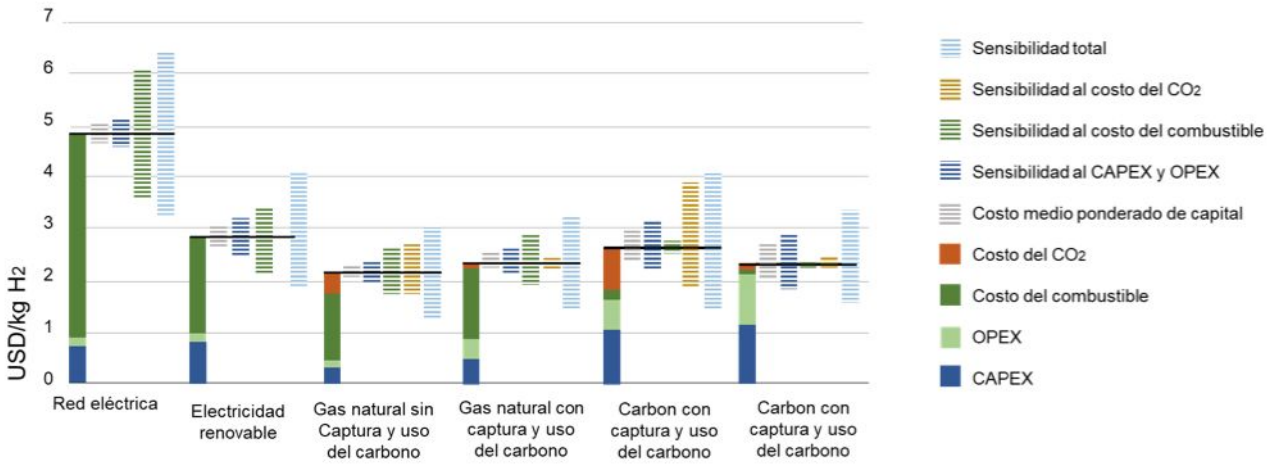


Figura 1. Costos estimados para la producción del hidrógeno en Europa en el 2030 con intervalos de sensibilidad para los costos relevantes (IEA, 2019).

CAPTURA Y USO DE LAS EMISIONES DE CARBONO.

Si se capturan las emisiones de carbono liberadas en las industrias de proceso, éstas pueden emplearse junto con el hidrógeno verde para producir metanol y amoniaco verdes que son mercancías valiosas para la industria química y también puede usarse como aditivo para combustibles líquidos. Este paso final es el menos desarrollado de los tres y necesitará impuestos al carbono o un mercado de emisiones para ser viable.

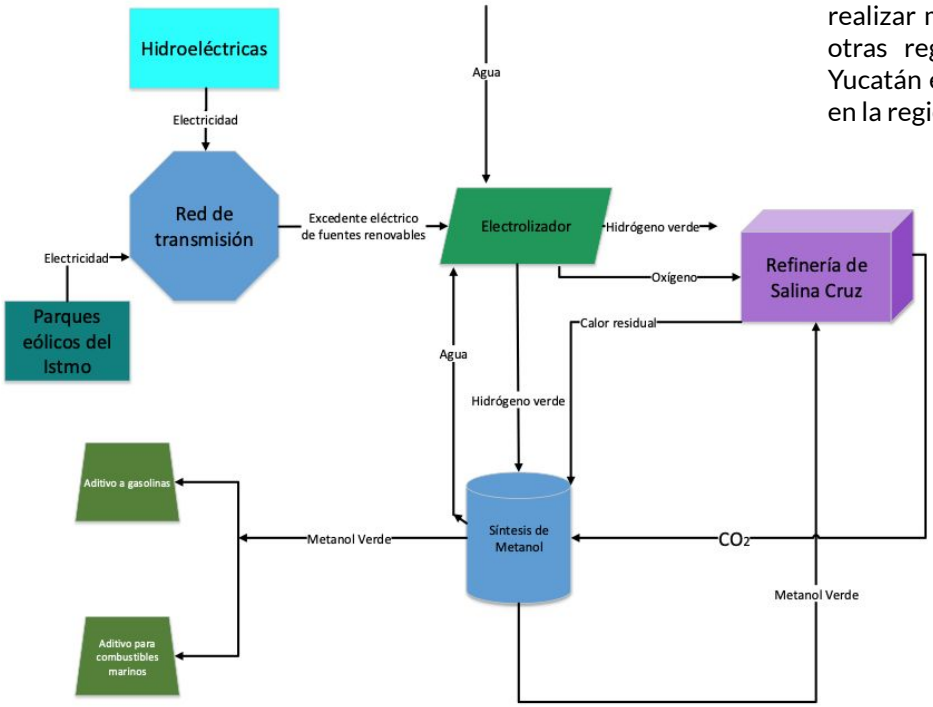
El dióxido de carbono es el gas de efecto invernadero con mayor presencia en la atmósfera, por lo que gran parte de los esfuerzos realizados para reducir los daños provocados por el cambio climático se han centrado en reducir sus emisiones.

El Gobierno de México ha implementado, desde enero de 2020, el Programa de Pruebas del Sistema de Comercio de Emisiones (Diario Oficial de la Federación, 2019) que consiste en establecer un nivel máximo permitido de emisiones de GEI de los sectores de la economía que deben reducirse anualmente. Durante el período de prueba, que tiene una duración de tres años, sólo participarán las instalaciones cuyas emisiones anuales sean iguales o superiores a 100.000 toneladas de emisiones directas de dióxido de carbono, así como ciertos sectores de la industria como la cementera, metalúrgica y química entre otras. otros. Con este programa, cualquier empresa puede acceder al mercado de emisiones ya que se otorga un crédito a las empresas que verifican, a través de un auditor externo, que sus niveles de emisión están por debajo del límite establecido para cada año.

El dióxido de carbono es el gas de efecto invernadero con mayor presencia en la atmósfera

La rentabilidad de capturar CO_2 varía considerablemente según la fuente y el uso del mismo y la tecnología aún no es comercial. No obstante, para las plantas de etanol que producen CO_2 relativamente puro, en 2030 se estima que podría capturarse a un costo relativamente bajo de alrededor de 25 USD a 30 USD por tonelada (Biniek, 2020), con un costo más alto para fuentes menos puras como cemento, acero o plantas de energía, cuyos costos podrían estar en el 60 USD a $150 USD. Por lo tanto, está claro que para que la captura y uso del carbono (CCU) sea rentable, las aplicaciones deben elegirse cuidadosamente, así como las fuentes.

Figura 2. Esquema P2X propuesto.
Fuente: elaboración propia



CONCLUSIONES

Las tecnologías del P2X ofrecen una posible solución a las principales limitantes de las energías renovables y, a pesar de que en su estado actual no son económicamente competitivas con las tecnologías convencionales, ofrecen suficientes ventajas como para justificar su desarrollo. El principal cuello de botella se encuentra en el costo de la electricidad y el desarrollo de electrolizadores, sin embargo, los costos de las renovables continúan disminuyendo y las investigaciones en electrolizadores más modernos están progresando, principalmente en Europa, por lo que es razonable pensar que en un periodo de 10 años el hidrógeno verde pueda ser competitivo.

Esto permitiría que los parques eólicos y solares actuales y del futuro puedan conectarse a la red sin desestabilizarla, a la vez que contribuyen a la descarbonización de otros sectores; comenzando con la industria petroquímica, más adelante la química y quizá incluso el sector transporte.

POSIBLE IMPLEMENTACIÓN EN EL ISTMO DE TEHUANTEPEC

Una región que ofrece una oportunidad privilegiada para operar un P2X es el Istmo de Tehuantepec, dado que existe la posibilidad de integrar los parques eólicos existentes con la refinería Salina Cruz (Figura 2). Podría producirse hidrógeno verde in situ solo y eventualmente, metanol y/o amoniaco verde. El primero, podría mezclarse con los combustibles líquidos que se producen directamente en la refinería o emplearse para otros procesos. Para la síntesis de metanol también podría utilizarse CO2 emitido por la propia refinería. Además, en el futuro, cuando la electrólisis de alta temperatura alcance su madurez comercial, podría agregarse para aumentar la producción y reducir los costos. Con la experiencia obtenida en un proyecto de este tipo, se podrían realizar más desarrollos, por ejemplo, expandiendo su uso a otras regiones con parques eólicos como Tamaulipas o Yucatán e incluso utilizando tanto energía solar como eólica en la región del Bajío.

REFERENCIAS

Biniek, H. R. (2020, June). Driving CO2 emissions to zero (and beyond) with carbon capture, use and storage. *Mc Kinsey Quarterly*.

CENACE. (2020). *Reporte de precios semanales de MEM.*

Diario Oficial de la Federación. (2019, Octubre 1). ACUERDO por el que se establecen las bases preliminares del Programa de Prueba del Sistema de Comercio de Emisiones. México: SEGOB.

GrInHy. (2020). *Green Industrial Hydrogen Via Reversible High-Temperature Electrolysis.* Retrieved from green-industrial-hydrogen: https://www.green-industrial-hydrogen.com/project/grinhy-project

IEA. (2019). *The Future of Hydrogen.*

Lazard. (2019). *Lazard's levelized cost of energy analysis Version 13.0.* Lazard.

Lehrer M, T. R. (2014). *Power-to-gas technology and business models* . Springer .

O. Schmidt, A. G. (2017). Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 1-23.

Steinmüller H, R. G. (2014). *Power to Gas- eine Systemanalyse.* Wien: JKUL/ML/TUW.

Zheng K, Z. D. (2010). Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications. *Progress in Energy and Combustion Science, 36*(3), 307-326.

ANES®
Asociación Nacional de Energía Solar

¿Aún no has tomado CURSOS EN LÍNEA? ¡REGÍSTRATE!

CURSOS IMPARTIDOS

- CONTROL DE CALIDAD DE CENTRALES ELÉCTRICAS FOTOVOLTAICAS (ANÁLISIS EN BAJA Y MEDIA TENSIÓN)
- DESCRIPCIÓN DEL MERCADO ELÉCTRICO, FORMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA Y LA PARTICIPACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN EL MERCADO ELÉCTRICO NACIONAL.
- DIMENSIONAMIENTO DE CENTRALES ELÉCTRICAS FOTOVOLTAICAS A PARTIR DEL CÓDIGO DE RED
- DISEÑO DE SISTEMAS AUTÓNOMOS
- DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS COMERCIAL & INDUSTRIAL EN CUMPLIMIENTO CON LA NOM-001-SEDE-2012 (TARIFAS GDMTO-GDMTH)
- CURSO PARA DISEÑO Y PUESTA EN MARCHA DE SISTEMA DE CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA ABARCA APLICACIONES PARA HOTELES, HOSPITALES, ALBERCAS, PROCESOS INDUSTRIALES Y AGROPECUARIOS

Conoce todos los cursos impartidos en:

cursos.anes.org.mx