

# REVISTA DE **Energías**

## RENOVABLES



**ANES**®

**Asociación  
Nacional de  
Energía Solar**

PUBLICACIÓN TRIMESTRAL

ENE-MAR 2020

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

**38**



**ESCOLLOS A LA GENERACIÓN**

**¿LA REVANCHA  
DE LA CORRIENTE DIRECTA?**

**BASES PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA  
ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA Y MUY BAJA  
ENTALPÍA EN MÉXICO**

**EDIFICIOS AUTOSUFICIENTES EN ENERGÍA,**

**LA PRIMERA CASA  
"NET ZERO ENERGY"  
EN MÉXICO**

## Estimados Lectores:

En esta edición de la revista Energías Renovables de la ANES se presentan 4 artículos abordando los temas del sistema eléctrico y de la vivienda sustentable.

El expresidente de la ANES, Enrique Caldera, menciona en su artículo "Escolllos a la Generación Distribuida en México" la importancia que los participantes gobierno en todos niveles, el sector empresarial y también la academia actúen de manera concertada para realizar de manera exitosa planes de transición en el sector eléctrico hacia una generación distribuida. Sin duda, también una re-transición hacia un sistema de distribución de energía eléctrica basada en la corriente directa como lo sugieren Miguel Ángel Cordova Fajardo y Eduardo Salvador Tututi en el artículo "La revancha de la Corriente Directa" es/será un camino empedrado.

Así mismo, me da gusto de anunciar el artículo de Agustín Torres con el título "Bases para el aprovechamiento de la energía geotérmica de baja y muy baja entalpía en México" debido a que este tipo de energía está omnipresente y tiene muchas aplicaciones desde sistemas muy simples hasta muy complejos. Con razón forma parte como sistema simple en la descripción de una casa "Net Zero Energy" en México, que nos presenta Roberto Gallegos. Como orientación se puede estimar que la temperatura del sub-suelo a pocos metros de profundidad (aproximadamente 10 m) se ubica alrededor 2 °C encima del promedio anual del sitio efecto a causa de la energía solar absorbida en la superficie. Para la Ciudad de México con un promedio anual de 15 °C tenemos a pocos metros de profundidad un reservorio abundante para eliminar cargas térmicas que requieren las edificaciones para brindar confort a los humanos. En sentido de calefacción opera con una bomba de calor, que al momento de aprovechar el calor almacenado en tierra trabaja con un coeficiente de operación elevado (relación de energía térmica entregada sobre energía eléctrica consumida). Curiosamente, el centro de convenciones de Davos en donde hace pocos días se celebró la cumbre de economía, cuenta con sistema de aprovechamiento de energía geotérmica. El cambio climático fue tema central en la cumbre, razón por la cual fue invitada Greta Thunberg y que por sus críticas provocó molestias a Donald Trump. Él en su discurso no prestó ni una palabra sobre el cambio climático. En mi opinión, a Trump se le debería haber ofrecido una excursión a las instalaciones técnicas del centro de convenciones con fines de enseñarle la aplicabilidad de tales energías alternas, explicarle su potencial de mitigar el cambio climático y de esa manera reducir su aversión contra ellas.

**Dr. Bernd Weber**  
Secretario de publicaciones

## Contenido

	Pag.
<b>ESCOLLOS A LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN MÉXICO</b>	<b>3</b>
<b>¿LA REVANCHA DE LA CORRIENTE DIRECTA?</b>	<b>7</b>
<b>EDIFICIOS AUTOSUFICIENTES EN ENERGÍA, LA PRIMERA CASA "NET ZERO ENERGY" EN MÉXICO.</b>	<b>10</b>
<b>BASES PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA Y MUY BAJA ENTALPÍA EN MÉXICO</b>	<b>16</b>

### REVISTA **Energías** Año 6 Núm. 38, ENE-MAR 2020 RENOVABLES

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.

**Dra. Lourdes Angélica Quiñones Juárez**  
Presidente  
**Dra. Karla Cedano**  
Vicepresidenta  
**Ing. Elizabeth Jiménez Trejo**  
Tesorero  
**Mtro. Javier Romero**  
Secretaría de Asuntos Industriales  
**M.I. Elsa Bernal**  
Secretaría de Organización  
**Dr. Bernd Weber**  
Secretario de publicaciones

**M. I. Guadalupe Moreno Quintanar**  
Secretario de capacitación  
**Ing. Daniel Moreno Lawrence**  
Secretario de Normatividad  
**Dr. Ivan Martínez Cienfuegos**  
Secretario de Secciones Regionales  
**Dr. Iván Salgado Transito**  
Secretaría de Vinculación  
**Dr. Adolfo Finck Pastrana**  
Secretario General  
**Manuel Pérez Sánchez**  
Secretaría de Asuntos Estudiantiles

Editor Responsable: **Dr. Bernd Weber**, Secretario de Publicaciones y Comité Editorial; Edición; Coordinadora Editorial: **Dafne Krinis**, Diseño Gráfico y Dirección de Arte; **Rodrigo Cárdenas Torres**; 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 5, Número 38, ENE-MAR 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 Editor responsable: **Dr. Bernd Weber**. 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

# Escollos a la Generación Distribuida en México

Ing. Enrique Caldera Muñoz \*  
Noviembre 2019

**En octubre de 1957, la Unión Soviética colocó el primer satélite artificial de la Tierra en órbita. Pronto le siguieron otros satélites, rusos y estadounidenses, los que utilizaban celdas fotovoltaicas para proporcionar la electricidad necesaria para su funcionamiento. Los desarrolladores de esas tecnologías sabían que algún día serían tan comunes y baratas que cada vivienda podría tenerlas en sus techos para electrificarla.**

A principios de los 70s los libros de Ingeniería de Distribución Eléctrica, conceptualizaban la Generación Distribuida, es decir, la generación en pequeña escala realizada en o cerca de los consumos, para autoabastecerse, complementando a las grandes Centrales de Generación Eléctrica. Las redes de distribución se esquematizaban incluyendo paneles fotovoltaicos en los techos de viviendas y edificaciones en general, así como también pequeños aerogeneradores junto a viviendas y edificaciones en el medio rural. Amén de otras tecnologías como biogás o biocombustibles para operar pequeños motogeneradores eléctricos, junto con pequeñas centrales hidroeléctricas para comunidades o instalaciones fabriles. La red eléctrica dejaba de ser una red de suministro para convertirse en una red de interconexión.

Es hasta ahora, segunda década del siglo XXI, en que esta visión se hace completamente realidad: técnica, económica, social, ambiental, financiera y legal. El juego empezó en octubre de 1973. con la Guerra del Yom Quipur y el embargo petrolero a Occidente por parte de los países de la OPEP. El desabasto de gasolina y las inmensas colas para cargar racionadamente, en Europa, Japón y los EEUU, sacudió el sistema energético convencional e hizo reflexionar sobre el valor estratégico de la autosuficiencia energética. Se empezó a hablar de Energéticos Nacionales, eficiencia energética y ahorro de la misma.

Esos energéticos nacionales, eran los recursos prácticamente olvidados de las energías renovables: la radiación solar, el viento, la energía hidroeléctrica, la geotermia, las olas, las corrientes marinas, las mareas, los gradientes térmicos oceánicos, tropicales y polares, y la biomasa reciente en sus múltiples modalidades. Para la eficiencia y el ahorro, la cogeneración se mostró como la herramienta más significativa. Consiste en el uso de un combustible para generar electricidad y producir calor de proceso simultáneamente. Un motor de combustión interna tiene si bien le va 42% de eficiencia, esto significa que el 58% de la energía térmica del combustible se tiene que disipar al entorno o el motor se quema. Por eso usan radiadores de calor. Pero si en lugar de radiador se usa un intercambiador de calor, a ese calor de desecho se le puede dar una utilidad.

Por esta razón de uso eficiente de energía, por ejemplo, en los hoteles se sustituyó la caldera a diesel para proporcionar agua caliente sanitaria a cuartos, cocina y lavandería, así como calefacción ambiental, por un motogenerador eléctrico a diesel con un intercambiador de calor, que generaba electricidad para el hotel y proporcionaba también los servicios de calefacción y agua caliente. Esto es un sistema de Cogeneración. Cuando este sistema se dimensiona en función de la carga térmica a satisfacer, tiene la característica de generar más electricidad que la requerida, por lo que es necesario transferir los excedentes a la red eléctrica. Y aquí pasamos de un problema técnico a uno legal. El consumidor se vuelve también productor, ahora es un prosumidor<sup>1</sup>. Hay que hacer nuevas reglas del juego.

En 1978 en EEUU se realizó la Reforma Eléctrica, se expidió la ley PURPA (Public Utility Regulatory Policy Act) y su Reglamento, que hacía mandatorio a todas las empresas eléctricas del país, comprar los excedentes de electricidad de los usuarios con autoabastecimiento o pequeños productores o productores independientes, de la electricidad generada vía cogeneración y energías alternas o no convencionales, como una manera de reducir la necesidad de energéticos importados, como una cuestión de seguridad nacional. Algo semejante ocurrió en Europa y Japón. En Dinamarca se alentó a los agricultores a cosechar también kWh generados por el viento, para lo cual sus excedentes serían retribuidos al 80% de la tarifa eléctrica de su suministro por la empresa eléctrica nacional.

En EEUU la base de la facturación a la energía eléctrica transferida a la red, por parte de los prosumidores o pequeña generación independiente, era el denominado "costo evitado", equivalente al costo por kWh que tendría la empresa eléctrica de ser ella la que hiciera nuevas inversiones. Sobre este costo se establecían incentivos dependiendo del tipo y escala de las tecnologías utilizadas, como lo establecía el Reglamento. No existía una tarifa única. El Estado de California estableció un esquema adicional de incentivos para impulsar el desarrollo de las energías renovables y la cogeneración. Gracias a ello, California se convirtió en el gran campo de pruebas de los aerogeneradores Daneses, por la gran cantidad de "Granjas eólicas" (Wind Farms) que se establecieron allá. Gracias a la intuición y visión del Gobernador Jerry Brown, California en ese periodo de desarrollo e innovación, se convirtió en el campo de desarrollo y aplicación de energías renovables más importante del mundo.

Durante 1985 la capacidad de generación del sistema eléctrico de EEUU creció 12,000 MW, de los cuales 1000 MW fueron con energías no convencionales, 5000 MW por cogeneración residencial, comercial e industrial y los 6000 MW restantes por inversiones de las Empresas Eléctricas. La Generación Distribuida representó el 50% de las inversiones en nueva capacidad y en ese entonces, fotovoltaica aun no era competitiva.

Cuarenta años después de esa Reforma Eléctrica mundial, para el 2020 se espera continúe la instalación anual de 50,000 MW eólicos en el mundo y se alcancen los 200,000 MW por año de instalaciones fotovoltaicas, básicamente como Generación Distribuida, dado que, por ejemplo, el Código Técnico de Construcción de la Unión Europea, hace mandatorio aprovechar la energía solar para electrificar y calefaccionar los edificios públicos. Para los países en vías de desarrollo con deficiente infraestructura eléctrica, las energías renovables en micro redes o sistemas aislados son la solución inmediata para sus necesidades eléctricas.

1. El término prosumer aparecía por primera vez en el libro "La Tercera Ola" escrito por Alvin Toffler y es una fusión de las palabras productor y consumidor.

## **En esa historia mundial ¿Cuál fue el rol de México? Para finales de los 70s dado que éramos país petrolero, por definición no teníamos problema energético alguno, pero sí el de cómo administrar nuestra abundancia. Cuando mucho se pensó en cómo ayudar a las 80,000 comunidades no electrificadas, muchas de ellas con pocas posibilidades de electrificar convencionalmente. El recién creado entonces Instituto de Investigaciones Eléctricas (1976)**

(Hoy INEEL) realizó el proyecto “Sistemas energéticos integrados para comunidades rurales” cuyo objetivo fue desarrollar equipos y sistemas para el aprovechamiento de energía solar, eólica, minihidráulica y biomasa, para prestar servicios energéticos comunitarios, que permitiesen ampliar sus capacidades productivas y disponer de servicios comunitarios. Al final, CFE dijo que eso estaba más allá de sus responsabilidades y propósitos y que como elementos de desarrollo social le correspondían a otras instancias públicas su aplicación. Las otras instancias públicas miraron para otro lado y nadie hizo nada.

En 1987 la División Baja California de CFE contrató al IIE, para realizar el estudio de prefectibilidad de una minicentral eólica de 1 MW, en Guerrero Negro, a mitad de la península, para operar en conjunto experimentalmente con la central a Diesel (9 Moto-generadores) de 10 MW, para abatir costos de producción, ya que el kWh eólico era 60% más económico que el generado con Diesel. A causa del 1er. Pacto para la Estabilidad Económica y ... de Miguel de la Madrid, el proyecto se canceló por instrucciones de Hacienda, cuando ya CFE y el IIE organizaban el desarrollo conjunto del proyecto.

Hasta 1986 se regularizó legalmente el autoabastecimiento y en 1991 se especificó mejor esa actividad, lo cual permitió proponerle al Gobierno de Zacatecas realizar el proyecto de una Central Eoloeléctrica de 2 MW para el autoabastecimiento virtual del 80% de la electricidad del alumbrado público del municipio de Zacatecas. La propuesta del contrato de interconexión consistía en acreditar la energía entregada de las 6:00 a las 18:00 hrs con la tarifa de Bombeo de Aguas y de las 18:00 a las 6:00 hrs del día siguiente con la tarifa de Alumbrado Público.

De esta manera la factura del alumbrado público se cubría “en especie” la mayor parte y con dinero el faltante. Este proyecto, pionero en América Latina en 1992, fue saboteado desde el interior del propio gobierno y quedó suspendido a mitad del camino por las indefiniciones jurídicas que le rodeaban.

Lo mismo ocurrió con la Minicentral hidroeléctrica de 100 kW en Tomatlán Jalisco, diseñada, construida y montada por el propio IIE, financiada por organismos internacionales y FIRCO, el que cubrió la obra civil-, la que jamás entró en operación por cuestiones “legales”, por la incapacidad de establecer el convenio para el “autoabastecimiento comunitario” de una comunidad originalmente sin servicio eléctrico, la que se electrificó para sabotear el proyecto de la minihidráulica.

El 23 de diciembre de 1992 se expide un decreto que modifica la Ley del Servicio Público de Electricidad, cuyos antecedentes están en unos foros sobre energía realizados por la 53 Legislatura sobre energías renovables y la Solicitud de Permiso ante la Secretaría de Energía para la Central Eoloeléctrica del Municipio de Zacatecas para el Autoabastecimiento Municipal de la electricidad para el alumbrado público. Este proyecto rompía con el esquema típico del autoabastecimiento, consistente en una unidad generadora convencional anexa al punto de consumo.

La Ley del 92, establecía las figuras de Autoabastecimiento, Pequeña Producción hasta 30 MW, Producción Independiente y Exportación e Importación de Energía como actividades que no constituyendo Servicio Público de Electricidad, se permitían a personas físicas y morales, en el Artículo 36. Sin embargo, para sabotear a las energías renovables, a última hora se le adiciona el Artículo 36 bis, estipulando que la energía debería ser económica y despachable, lo que automáticamente dejaba fuera de juego a las energías renovables, abriendo una enorme puerta a la inversión extranjera con Centrales de Ciclo Combinado, lo que efectivamente ocurrió.

Un malentendido que persiste a la fecha, es que siendo las energías eólica y solar de naturaleza intermitente, son incompatibles con el despacho de carga, es decir, no son despachables, ya que el nivel de generación no puede ser controlado por un operador. Este siempre ha sido el gran “pero” a la eólica y solar. La solución de este problema es la Generación Distribuida, cuyo efecto agregado es una aparente disminución del Patrón de Demanda y sobre este Patrón Residual se programa el Despacho de Carga sin problemas. A la fecha hay más de 600,000 MW eólicos instalados en el mundo y creciendo a razón de 55,000 MW por año sin problema alguno y bajando la tarifa eléctrica en la época ventosa.

Hasta ahora, 40 años después de la Reforma Eléctrica establecida en los países desarrollados, como una reforma tecnológica-social, que implicaba un nuevo marco legal y regulatorio, México no ha acabado de entender esa transformación. Energías Renovables y su aprovechamiento continúan en un limbo jurídico y de indefinición regulatoria, que han hecho inútiles los esfuerzos de quienes hemos impulsado este aprovechamiento como medio de desarrollo tecnológico industrial para el país. Hacer subastas para que vengan inversionistas y empresas extranjeras a instalar Centrales eólicas y fotovoltaicas, bajo el enfoque de hacer buenos negocios, no es el mecanismo idóneo para el desarrollo tecnológico, industrial, económico y social de este país, que puede girar alrededor del aprovechamiento masivo de las Energías Renovables en México.

Energías Renovables tienen el significado profundo de la Democratización y Socialización de la Energía, son un instrumento de liberación y soberanía nacional, desarrollo social y bienestar. El Sector eléctrico del futuro gira alrededor de estos conceptos: Energías Renovables, Generación Distribuida y Redes Inteligentes, complementando al Sistema Eléctrico tradicional, donde es urgente poner fin a la dependencia de Combustibles Fósiles para la generación eléctrica, principal fuente de gases de efecto invernadero, así como el desarrollo de la electromovilidad, para minimizar el uso de gasolinas y diesel en el transporte.

El impulsar las energías renovables en el México actual para efectuar una auténtica transición y transformación energética, no es un problema ni tecnológico ni económico, es un problema de voluntad política. Es el problema de saber a dónde queremos ir y cómo hacerlo. Es una cuestión de conciencia y voluntad. En México tenemos los recursos energéticos renovables, la capacidad industrial, los recursos humanos y tecnología, para afrontar exitosamente este reto.

**La palabra la tiene ahora el gobierno de al 4<sup>a</sup>. Transformación y seguramente saldremos de la Tontilandia Energética en la que vagamos los últimos 40 años.**

---

\*Ingeniero egresado de la ESIME Gen 62-65. ESIME Técnico B, Comisión Nacional de Energía Nuclear 1967-1968

Programador Analista Técnico y Suptte. Auxiliar Divisional. División Centro Occidente y División Bajío, CFE, 1970-1976.

Jefe de Proyectos y coordinador de especialidad de Energía Eólica en el antiguo Instituto de Investigaciones Eléctricas. 1977-1976.

Jefe de los Programas de Energía Eólica y Solar de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) Quito, Ecuador. 1982-1984.

Investigador Nacional Nivel I, 1986-1995.

Presidente del 8vo. Consejo Directivo de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) 1995-1996.

Secretario Ejecutivo del Consejo Consultivo para el Fomento de las Energías Renovables, COFER. 1998.

# ¿La revancha de la Corriente Directa?

Miguel Ángel Cordova Fajardo<sup>1,2</sup>, Eduardo Salvador Tututi.<sup>1</sup>

La necesidad del sistema eléctrico surgió gracias al desarrollo del mercado alrededor del invento de la bombilla incandescente, siendo su principal impulsor Thomas Alva Edison; su sistema eléctrico operaba en base a Corriente Directa (CD) (Barazarte, 2013) con un voltaje de 100 VCD y contaba con unidades de generación de energía in situ (Adair, 1996). En 1885, George Westinghouse adquiere las patentes de transmisión eléctricas en Corriente Alterna (CA) las cuales habían sido desarrolladas por Gaulard y Gibbs en 1881. En 1887 Nikolas Tesla registró siete patentes para el sistema de distribución de CA polifásico, motores, generadores y transformadores de CA, estos últimos dieron la facilidad transmitir energía eléctrica desde grandes centros de producción de energía, a las ciudades de una manera barata y sencilla (Ailee & Tschudi, 2012) siendo esta la principal ventaja sobre CD que marco un amplio dominio de CA.

A dicho periodo se le conoce como la “Guerra de las corrientes” donde resultaron “ganadores” los sistemas de CA expandiéndose al sector doméstico, iluminación pública y posteriormente a la industria, alimentados por grandes complejos hidroeléctricos y/o termoeléctricos dando paso a sistemas eléctricos centralizados. En consecuencia, los sistemas de CD quedaron restringidos al sector automotriz y a aplicaciones industriales específicas, para las cuales era necesario la exactitud y precisión en los movimientos motrices. Así permaneció por mucho tiempo definida la línea de preferencia entre CA y CD.

El desarrollo de materiales semiconductores y su gradual abaratamiento ha promovido la miniaturización de los electrodomésticos presentes en nuestros hogares logrando alcanzar altas eficiencias y bajos consumos de energía eléctrica. En la actualidad, la mayoría de los electrodomésticos operan internamente con CD, como lo son la TV de Led o plasma, la estufa de inducción, las lámparas led y fluorescentes, el cargador de celular, el modem o el reproductor de DVD, entre otros, en donde es necesaria una etapa de rectificación, esto es, la conversión de CA a CD por medio de dispositivos electrónicos. Por otra parte, la incorporación de sistemas de energías renovables al sistema eléctrico representa un nuevo paradigma, resurgiendo así el concepto de sistemas eléctricos distribuidos (Holjevac, Capuder, & Kuzle, 2017), para lo cual no es necesario la transmisión de energía eléctrica a grandes distancias debido a que existe la posibilidad de generación de energía in situ gracias a la implementación de microredes y nanoredes eléctricas.

Lo mencionado anteriormente, ha dado pie para cuestionarse sobre cual sistema eléctrico es capaz de apropiarse de estos avances de una manera flexible. Actualmente, se han documentado las ventajas de los sistemas de CD dentro de las cuales destacan una eficiencia de 15 al 22% sobre sistemas en base a CA (Sathler, y otros, 2017), por ejemplo la disminución en consumos parásitos que se presentan en estado de “Stand by”, en el cual no se realiza trabajo por parte de los electrodomésticos pero existe un consumo de energía eléctrica debido a la presencia del capacitor que filtra las interferencias electromagnéticas, como se muestran en la *Figura 1* y *Figura 2*. Sin embargo, el talón de Aquiles de los sistemas eléctricos de CD es el sistema de almacenamiento de energía en base a bancos de baterías. En contraparte, los sistemas de CA son muy robustos y se han depurado incrementando su confiabilidad en base a sistemas cada vez más complejos. No obstante, la incorporación de electrodomésticos de alta eficiencia en el sector doméstico y comercial representa un reto para la estabilidad del sistema en CA, existiendo el riesgo de colapso total o parcial de la red por la presencia de estos electrodomésticos con comportamiento no lineal. Dentro de los componentes no lineales se incluye a los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red.

La línea que dividía los dominios entre los sistemas eléctricos se ha diluido debido al importante papel de las fuentes de energía renovable. Estas, en un futuro próximo impulsarán la aparición de micredes eléctricas híbridas con distribución en CD dentro de las cuales operaran algunos componentes exclusivos de CA todo ello con ayuda de la electrónica de potencia.

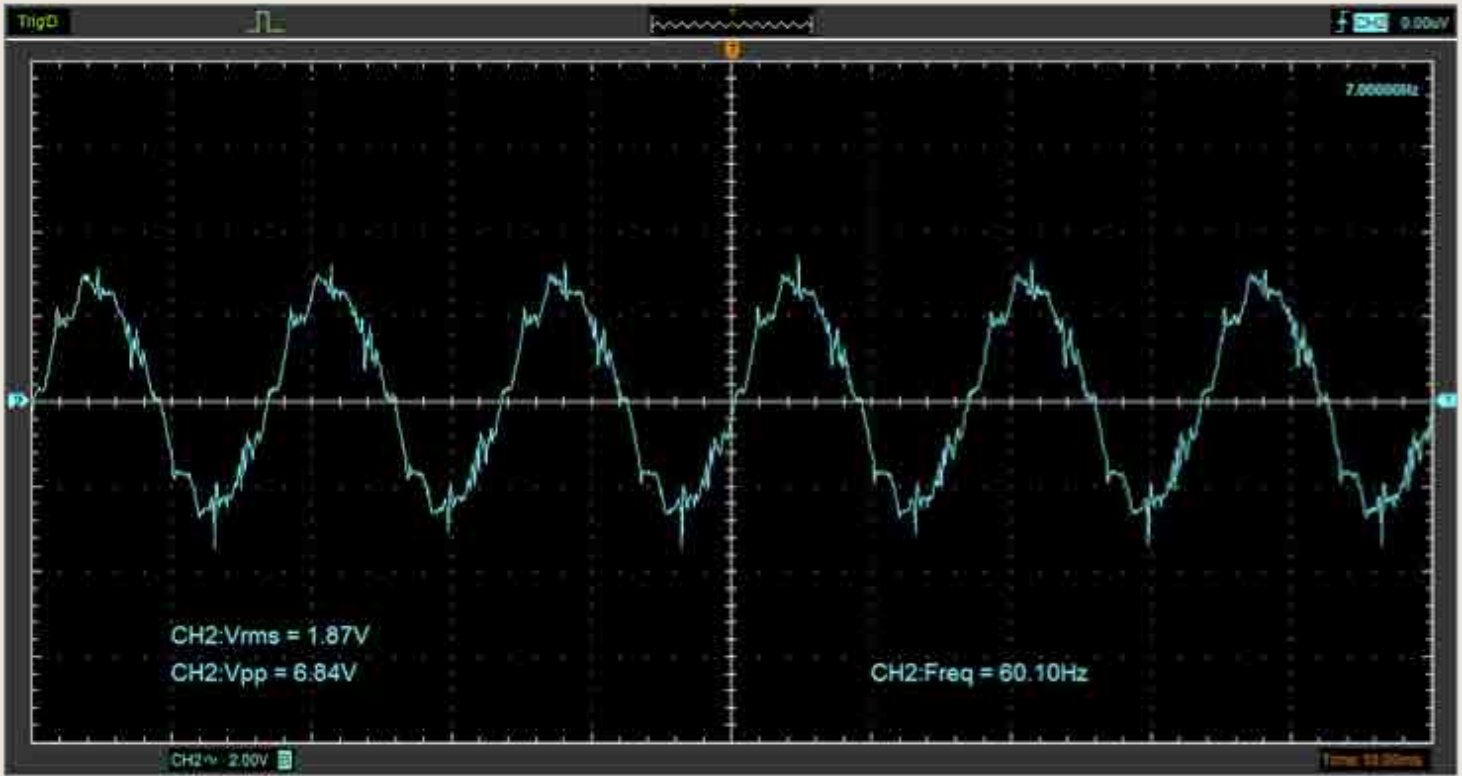


Figura 1 Consumo en estado de stand by de estufa de inducción en Corriente Alterna 120 VCA 60 Hz, correspondiente a 1.87 Amperes de una carga capacitiva.

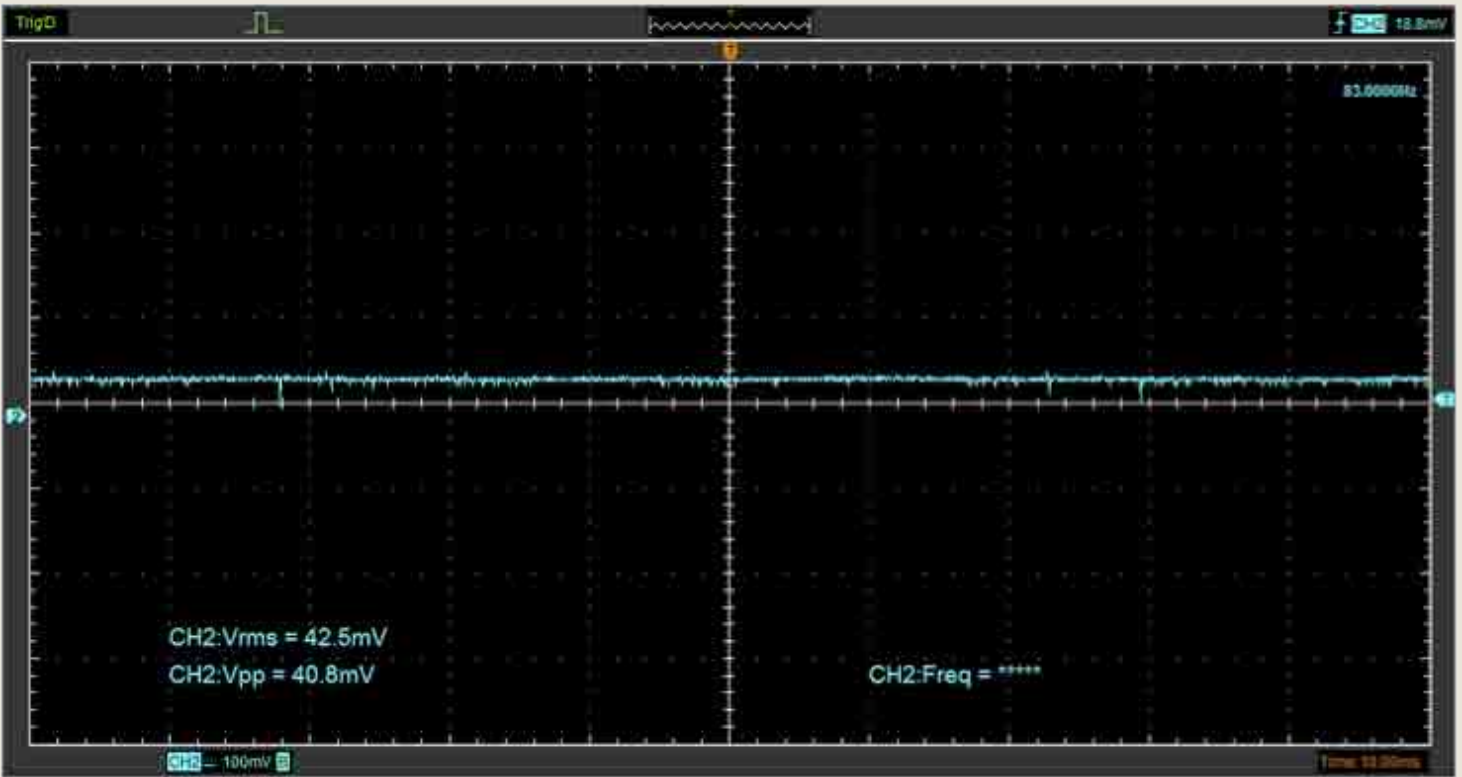


Figura 2 Consumo relativamente bajo en estado de stand by de estufa de inducción en Corriente Directa a 120 VCD, correspondiente a 42.5 mA.



Finalmente, los sistemas eléctricos de CD tienen un gran potencial para favorecer la incorporación de las fuentes de energías renovables de una manera sencilla y simple, que no se limitará a sus niveles clásicos de voltaje de 12, 24 o 48 alcanzando inclusive los niveles de 600V CD. El cableado para un sistema residencial de CD operando a 120 VCD es igual al de un sistema de CA residencial monofásico a 120 VCA. Para que al usuario final le sea atractivo el empleo de CD generada por fuentes renovables y la transición de CA a CD sea lo más amigable, es necesario realizar los esfuerzos tecnológicos para el desarrollo de electrodomésticos que operen en ambos regímenes y se establezcan normas para una buena operación (Decuir & Michael, 2017).

En la actualidad muchos electrodomésticos disponibles en el mercado local, tienen la posibilidad de funcionar en CA y CD, aun cuando fueron diseñados solo para el régimen de CA. Un ejemplo de ello es la estufa de inducción, que es usada para la cocción de alimentos, con lo cual se reduce o elimina la dependencia de combustibles fósiles (gas LP) para dicho fin logrando mayor eficiencia energética, un estudio de esta situación ha sido reportado en (Cordova-Fajardo & Tututi Hernández, 2019). Sin embargo, también existen electrodomésticos para los cuales es necesario su modificación para la incorporación al régimen de CD, ya que contienen elementos exclusivos de CA, como son motores de inducción que forman parte de los compresores de refrigeradores, ventiladores de motores de polos sombreados para convección forzada o bombas de agua y lavadoras de ropa.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Básicas, Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas.  
kordov@hotmail.com, tututi@umich.mx

## Referencias

---

- Adair, G. (1996). Thomas Alva Edison. Inventing the Electric Age. Oxford University Press.
- AlLee, G., & Tschudi, W. (18 de octubre de 2012). Edison Redux: 380 Vdc brings reliability and efficiency to sustainable data centers. IEEE, 50 - 59.
- Barazarte, R. Y. (2013). La batalla de las corrientes: Edison, Tesla y el nacimiento del sistema de potencia. Prisma Tecnológico, 4(1), 51, 53.
- Chandrasena, R. P., Shahnia, F., Ghosh, A., & Rajakaruna, S. (2014). Operation and control of a hybrid AC-DC nanogrid for future community houses. Perth, Australia: Australasian Universities Power Engineering Conference.
- Cordova-Fajardo, M. Á., & Tututi Hernández, E. S. (2019). Incorporating home appliances into a DC home nanogrid. Journal of Physics: conference series, 1221.
- Decuir, J., & Michael, P. (2017). Draft IEEE standard for DC microgrids for rural and remote electricity access applications. IEEE Conference on Technologies for Sustainability.
- Erteza Gelani, H., Nasir, M., Dastgeer, F., & Hussain, H. (2017). Efficiency comparison of alternating current (AC) and direct current (DC) distribution system at residential level with load characterization and daily load variation. Pakistan Academy of Sciences, 54(2), 111 - 118.
- Hamid Shwehdi, M., & Rajamohamed, S. (2014). Proposed Smart DC Nano-Grid for Green Buildings - A Reflective View. Milwaukee, USA: 3rd International Conference on Renewable Energy Research and Applications .
- Holjevac, N., Capuder, T., & Kuzle, I. (2017). Defining key parameters of economic and environmentally efficient residential microgrid operation. Energy Procedia, 999 - 1008.
- Martínez Montejo, S. A., & Sheinbaum Pardo, C. (2016). The impact of energy efficiency standards on residential electricity consumption in Mexico. Energy for Sustainable Development.
- Sathler, H. H., Sathler, L. H., Marcelino, F., de Oliveira, T. R., Seleme, S. I., & Garcia, P. (2017). A comparative efficiency study on bidirectional grid interface converters applied to low power DC nanogrids. IEEE, Brazilian Power Electronics Conference (COBEP).
- Shahnia, F. (2017). Hybrid nanogrid systems for future small communities. Sustainable Development in energy systems, XIV. doi:10.1007/978-3-319-54808-1\_2

# Edificios autosuficientes en energía,

# la primera casa “Net Zero Energy” en México.

En la actualidad se ha vuelto un tema de gran debate el calentamiento global, que amenaza, si no la supervivencia de la raza humana, por lo menos con un costo altísimo para las generaciones futuras, emprender una lucha contra las consecuencias que este cambio climático tendrá en nuestro mundo, y decimos tendrá porque ya no hay duda de que éste se presentará. Lo más lamentable es que aún con la evidencia abrumadora de este cambio climático nuestros gobiernos no lo toman en serio o piensan que no es un problema que les toca resolver, aun cuando la ciencia muestra que nuestra generación es la que más ha contribuido al cambio climático por el derroche inconsciente de energía generada con combustibles fósiles subsidiados que han aumentado inconmensurablemente las concentraciones de gases efecto invernadero, sobre todo CO<sub>2</sub>, en nuestra atmósfera.

El consumo de energía en los hogares representa un gran porcentaje del consumo total de energía, que en algunos casos puede llegar al 50% o más de ese total! Si queremos reducir nuestra huella de carbono es indispensable reducir este consumo de energía y en este artículo queremos demostrar que no es necesario esperar a que la tecnología avance, ya tenemos en la actualidad las herramientas suficientes para construir viviendas (o edificios) “NET ZERO ENERGY”, es decir, con un consumo neto de energía de CERO y con consecuencias en nuestros bolsillos que nos sorprenderán, pues la inversión adicional se recupera en menos de ¡4 años!

Empecemos por el principio, el principal gasto de energía de un edificio es la climatización del mismo y para el caso de Estados como Chihuahua con temperaturas extremas esto es todavía más cierto, sin embargo hay técnicas y estrategias que nos permiten reducir estos gastos hasta el ¡100%!

El comportamiento térmico de un edificio depende de 4 factores:

- 1) El aislamiento térmico de la envolvente, cuidando los puentes térmicos, esto incluye puertas y ventanas de alto desempeño (buena resistencia térmica y que sean herméticos)
- 2) La masa o inercia térmica de la construcción
- 3) La ventilación, de preferencia con intercambio de calor, para lo que es importante que el edificio sea hermético
- 4) La orientación y cuidado de las ganancias solares (lo más posible en invierno, lo menos en el verano)

Para los otros usos de la energía, agua caliente, estufa, secadora de ropa, etc. La estrategia es usar equipos eléctricos de alta eficiencia, como los que mostramos en este artículo.

La casa que presentamos es una casa NET ZERO, es decir, el consumo de energía para su operación es cero, pues el consumo neto de luz y gas es CERO. Se hará una presentación gráfica con el orden natural de construcción, tratando de explicar los diferentes elementos de eficiencia energética tal como se fueron incorporando en la construcción.

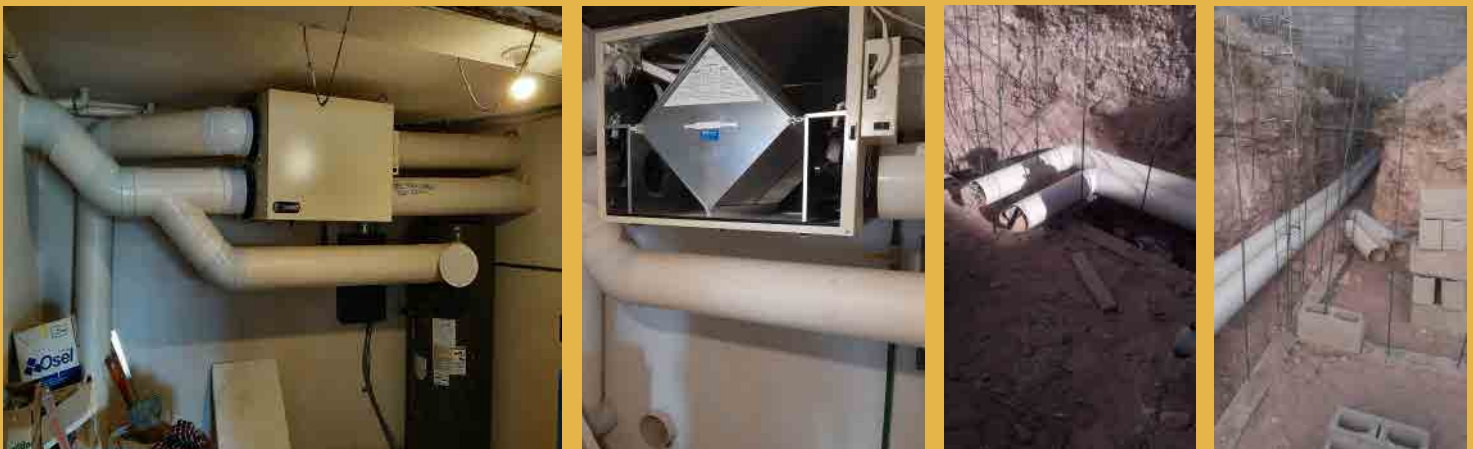
## El sistema de ventilación.

Se adoptó un sistema de ventilación con intercambio de calor (Heat Recovery Ventilator, o HRV) donde se suministra aire fresco a la casa por medio de un sistema de ductos, en este caso tubería de PVC sanitaria, a las piezas principales, recámaras y estancias, y se extrae el aire viciado de las piezas de servicio, baños, cocina y lavandería, creando un patrón de ventilación donde los contaminantes (humedad y malos olores) se extraen en las piezas donde se producen y nunca llegan a las piezas principales, creando un excelente confort.

Pero además, el aire fresco se lleva a la casa por un tubo enterrado (Earth tube) con el objeto de crear un intercambiador de calor con el suelo, de manera que por ejemplo, si el aire fresco se toma del exterior a una temperatura de 0 °C, llega al ventilador a una temperatura de al menos 10°C y éste, al pasar por el intercambiador de calor del ventilador (intercambia energía con el aire viciado que se extrae del interior, que viene a 20°C) entra a las piezas principales a una temperatura de 16°C, es decir, nos ahorramos un 80% de energía para calentar el aire de ventilación, además de que controlamos el volumen de éste, por lo que el ahorro puede llegar hasta el 95%. En el verano el beneficio es similar.

## Ventiladores con recuperación de calor (HRV o ERV).

En las fotografías se muestra en el cuarto de máquinas la disposición del ventilador con las tuberías de suministro y extracción de aire conectadas. También se muestra el calentador de agua híbrido eléctrico, este calentador funciona con bomba de calor (toma el calor del ambiente con el cual calienta el agua y expulsa aire frío, en verano se quita la tapa de la tubería para enfriar el cuarto de máquinas y en invierno se coloca la tapa y se conecta a la tubería de extracción del aire viciado para desecharlo al exterior), con lo cual el consumo de energía es de aproximadamente 900 kWh por año para una familia de 5-6 miembros (capacidad del depósito 190 litros). También se muestra la toma de aire fresco de la tubería enterrada.



Arriba la tubería enterrada, un tubo para la ventilación de la casa y el otro para el cuarto de máquinas. La tubería está enterrada a un promedio de 2 metros con aproximadamente 20 metros de longitud.

Las fotografías abajo muestran el sistema de ductos para el suministro de aire fresco en piezas principales y la extracción de aire viciado de las piezas de servicio.



## Aislamiento de la envolvente.

El aislamiento de la envolvente incluye el cuidado de los puentes térmicos, comenzando con el que se forma entre el piso y la cimentación de la fachada. Antes de colar el piso se instaló una placa aislante horizontal de espuma de poliestireno de 2" de espesor y 60 cm de ancho en todo el perímetro de la casa. Por el exterior la placa se colocó verticalmente desde la zapata corrida de cimentación cubriendo el rodapié, dala de desplante, muros, volados y marcos de puertas y ventanas con el objeto de envolver completamente la casa con una placa continua aislante (espuma de poliestireno 2" de espesor de alta densidad). En el techo se instaló placa aislante de 4" de espesor cubriendo el 100%, incluso volados y desplantes de pretilas, pues éstos se construyeron arriba del aislante para no crear el puente térmico. Incluso en el techo de la cochera, que es el piso de la sala, se colocó placa aislante para evitar las pérdidas a través de éste.

## La masa o inercia térmica.

En la construcción tradicional que acostumbramos la inercia térmica no es un problema (al contrario de las construcciones ligeras como las de nuestros vecinos del norte), en este caso la construcción es con ladrillo recocido, firme y losa de concreto, la de entrepiso sólida de 18 cm de espesor para proveer de mayor masa térmica y la de azotea aligerada de 15 cm de espesor.

## La orientación.

La fachada principal está orientada el suroeste con un azimut de 191.3° (teniendo el sur un azimut de 180°), el área de ventanas total es de 24.8 m<sup>2</sup> de los cuales 11.2 m<sup>2</sup> están al sur (el balance energético es positivo en invierno), 1.6 m<sup>2</sup> al Oeste (aunque protegidos por la casa del vecino) 3.6 m<sup>2</sup> al Norte y 8.4 m<sup>2</sup> al Este (la mayor parte con vista a la terraza, la cual se protege con mallasombra en el verano), por lo que se considera una excelente orientación maximizando las ganancias de calor en invierno y limitándolas en el verano.

Los elementos de fachada, además de cumplir con su función estética, proporcionan protección durante los meses de verano a las ventanas de la fachada, la cual tiene un azimut de 191.3° (muy cerca del sur geográfico), por lo que en los meses de invierno recibe una gran insolación y en el verano quedan protegidas de la radiación solar directa.

Las puertas y ventanas son de doble vidrio fabricadas en PVC (ventanas) y fibra de vidrio (puertas) con sellos en todo su perímetro con el objeto de hacerlas lo más herméticas posible. Además del ahorro de energía, estas puertas y ventanas proporcionan un nivel de confort superior debido al aislamiento acústico y la eliminación del efecto de pared fría (intercambio por radiación entre el cuerpo y las superficies frías).

Como es prácticamente una planta la inercia térmica es muy fuerte (inercia proporcionada por el suelo) aprovechando muy bien las aportaciones solares. Como referencia y de acuerdo a nuestro modelo para el cálculo de consumo de energía, una casa de inercia térmica fuerte (>400 kg/m<sup>2</sup>) con la misma resistencia térmica de la envolvente que una casa de construcción ligera, consume la mitad de la energía.

Abajo la placa aislante perimetral de 60 cm y la placa vertical desde la zapata corrida de cimentación hasta el volado de la losa, incluso se colocó placa aislante en los marcos de puertas y ventanas. Se aprecia también la placa en el 100% de la superficie de la azotea y como los pretilas están construidos sobre la placa aislante.





## Fotos del interior con la casa terminada.



En estas fotos se muestra la bomba de calor de 7 kW con la manejadora de aire en el interior y la unidad exterior. Este equipo se calcula consumirá 1500 kWh al año tanto para enfriar la casa como para calentarla. De acuerdo a datos de la NASA (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>) los días-grado de calefacción a 18.3° C son 1117 entre noviembre y marzo. Para 21° C se estiman en 1300 días-grado, o 31200 horas-grado. Para el verano lo crítico son las ganancias de calor debido a la radiación solar la cual de acuerdo a la misma fuente es de 6.3 kWh/m<sup>2</sup>/día entre mayo y septiembre. También se muestra el inversor de 6 kW y los 12 paneles de 335 watts cada uno así como la estructura para 6 paneles adicionales con el objeto de proporcionar energía al futuro vehículo eléctrico.





## Evaluación de pérdidas y ganancias de energía.

Para la implementación de todo lo anterior se necesita de un método válido para calcular las pérdidas y ganancias de energía y poder decidir las mejoras estrategias y lograr el objetivo de tener un edificio NET ZERO. Este cálculo nos da un consumo para climatización del orden de 6400 kWh/año (2800 kWh para el invierno (temperatura interior 21° C) y 3600 kWh para el verano (temperatura interior 24.5° C). Para satisfacer esta demanda se usa una bomba de calor de alta eficiencia de 2 Ton de capacidad (7 kW), la cual tiene un coeficiente de desempeño estacional para el verano de 5.8 y de 3.2 para el invierno (5.8/3.2 kWh de calor extraído o suministrado por cada kWh eléctrico de consumo) por lo tanto el consumo de energía eléctrica se estima en 1500 kWh al año.

El consumo de los demás equipos (boiler, ventilador, hidroneumático, estufa, horno y campana, lavavajillas, lavadora y secadora, refrigerador, iluminación, televisión, internet y demás) se estimó en 8000 kWh adicionales, que usando equipos de alta eficiencia, principalmente un boiler híbrido (bomba de calor) y una secadora con bomba de calor representa un consumo de 5200 kWh de electricidad, por lo que es necesario proveer de 6700 kWh de electricidad al año, lo cual se lleva a cabo con energía solar fotovoltaica. Para ser conservadores la casa se equipó con un sistema solar de 4 kWp con un inversor de 6 kW, que provee de 7200 kWh por año.

Para referencia, una casa tradicional de estas dimensiones en la que se mantenga el mismo nivel de confort, se estima que el consumo de energía para el confort higrotérmico sería de 18800 kWh para el invierno y de 24200 kWh para el verano, si se usa gas LP para la calefacción el consumo se estima en 3000

litros por temporada que más el consumo de calentador de agua, estufa, horno y secadora suman unos 3800 litros (\$41800.00) y en el verano unos 5200 kWh de electricidad para la refrigeración (considerando un equipo de mediana eficiencia), que sumados al consumo de los otros equipos (3250 kWh) en la tarifa DAC representa un gasto anual aproximado de \$45370.00. Estamos hablando de un ahorro de más de \$87000.00 anuales!

Además se dejó una preparación para 2 kWp adicionales con el objeto suministrar energía en el futuro a un vehículo eléctrico el cual se estima consume 10 kWh para recorrer 60 km al día. No solo la casa es autosuficiente, sino además provee de la energía necesaria para el transporte. Si recorremos 20000 km por año a 10 km/litro representa un ahorro de \$40000.00 anuales en gasolina!

En resumen, ¡un ahorro total de \$127,000.00 anuales!

Para finalizar volvamos al cambio climático. ¿Cuál será nuestra excusa? Ahorrar energía y producir la que gastamos con fuentes renovables sale más barato que no hacerlo. ¿Estás dispuesto a hacer algo por nuestro planeta, o cambiemos la pregunta, estás dispuesto a hacer algo por tu descendencia? Recordemos que el mundo en que vivimos no lo heredamos de nuestros padres, se lo pedimos prestado a nuestros hijos. Que nuestro gobierno (los 3 niveles) implementara una política de incentivos fiscales y difusión de estas medidas sería de gran ayuda para implementarlas.

**Comentarios:** [rgallegos59@gmail.com](mailto:rgallegos59@gmail.com)

El autor Roberto Gallegos es perito en eficiencia energética y administrador único de Ecotécnicas Constructivas S.A. de C.V. empresa especializada en ahorro de energía y sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red.

# Bases para el aprovechamiento de la energía geotérmica de baja y muy baja entalpía en México

Elaborado por Dr. en Arq.  
**Agustín Torres Rodríguez**  
Enero de 2020

Desde tiempos antiguos se ha tenido conocimiento de la existencia de la energía geotérmica debido a su presencia en los volcanes, geiseres, aguas termales, etc. Antiguamente se ha utilizado para el calentamiento de recintos y para aplicaciones medicinales. De acuerdo con Jutglar et al. (2011) los yacimientos de baja entalpía son mucho más abundantes que los de alta entalpía y están distribuidos de forma homogénea sobre la superficie de la Tierra. Para Jutglar et al. (2011) los recursos de alta entalpía generan calor y se utilizan más en aplicaciones industriales y para la generación de electricidad. En el caso de México los recursos de alta entalpía (superior a 150 °C) se han utilizado para la generación de electricidad y los de baja (inferior a 100 °C) y muy baja entalpía (50-40 °C) para usos terapéuticos y medicinales. Los recursos geotérmicos de baja y muy baja entalpía no se han utilizado para la climatización de viviendas y edificios en México debido principalmente al alto costo inicial que representa la instalación de un sistema con bomba de calor geotérmica.

## Breve descripción de una bomba de calor

La bomba de calor es un sistema convencional de climatización que puede calentar o enfriar un espacio. Esta es controlada por medio de un termostato de cuarto en donde se pueden programar las temperaturas de calentamiento y enfriamiento del sistema. Las bombas de calor se pueden clasificar en fuente el aire, fuente la tierra y fuente el agua. Las primeras aprovechan la temperatura del aire para calentar o enfriar las viviendas, los locales comerciales, las universidades y otras instalaciones públicas y privadas. Pero el principal inconveniente de este tipo de sistemas se tiene cuando opera en el modo de calentamiento y la temperatura del aire exterior desciende a menos de 0 °C lo que ocasiona que el vapor del agua del aire exterior se empiece a congelar en el serpentín evaporador. Otras causas que originan este congelamiento son el flujo de aire alrededor del serpentín de enfriamiento puede estar bloqueado debido a la sucie-

dad; un filtro de aire sucio o al aislamiento defectuoso del conducto de suministro de aire principal. Cuando el sistema de refrigeración por compresión de vapor tiene poco refrigerante, los serpentines se enfrían de manera desigual, lo que puede ocasionar la formación de hielo. Parte del serpentín se enfría mucho y la humedad en el aire comienza a condensarse en el serpentín, causando la formación de hielo. El hielo entonces actúa como un aislante térmico. Esto provoca una falta de calentamiento y una baja en la eficiencia térmica de la bomba de calor. Además, el tiempo de vida de las válvulas reversibles que cambian los modos de climatización (enfriamiento/calentamiento) es relativamente corto (de 5 a 7 años de operación diaria).

Los segundos sistemas aprovechan la temperatura en el interior del suelo, subsuelo o roca para climatizar las edificaciones. Las bombas de calor con fuente el agua puede tomar o enviar el calor a un acuífero, lago, laguna o estanque. Tres componentes integran una bomba de calor geotérmica: el sistema de refrigeración por compresión de vapor con válvula reversible, el intercambiador de calor geotérmico y el sistema de distribución.

El intercambiador de calor geotérmico colecta el calor y lo transfiere al refrigerante que fluye a través del sistema de refrigeración mecánica para calentar la vivienda o edificio. En el modo de enfriamiento el refrigerante toma el calor del aire interior de la vivienda, y lo transfiere al agua interior del intercambiador de calor geotérmico para ser después depositado en el subsuelo, suelo o acuífero. Dependiendo de las características geológicas o hidrogeológicas del sitio, los intercambiadores de calor geotérmi-



cos pueden ser instalados verticalmente u horizontalmente y pueden ser conectados a una serie de tuberías en forma de circuitos en paralelo para extraer o depositar el agua o el calor. Si lo que se deposita o extrae es el agua se llama sistema abierto y si esta agua circula por el interior de tuberías de polietileno de alta densidad se llama sistema cerrado.

## Estudios del potencial geotérmico de los sistemas cerrados

En 2014 el Servicio de Manejo Ambiental (EMS, por sus siglas en inglés), el grupo de Ciencia GNS y la Autoridad en Conservación y Eficiencia Energética (EECA, por sus siglas en inglés) de Nueva Zelanda recomendaron los parámetros mostrados en la tabla 1 para el diseño e instalación de los sistemas de bomba de calor geotérmicas con intercambiador de calor geotérmico de tipo cerrado.

**Tabla 1. Parámetros de diseño de los sistemas de bomba de calor con intercambiador de calor geotérmico de tipo cerrado.**

Tipo de sistema	Usos comunes	Configuración	Profundidad de la tubería	Espaciado entre serpentines	Espaciado entre tubos	Material de la tubería	Diámetro del tubo
Intercambiador de calor geotérmico horizontal	Uso residencial con lotes de grandes tamaños y acceso a la tierra	Recto, múltiple o sinuoso	0.4-1.5 m (promedio)	1-3 m (entre zanjas)	≥0.3 m (tuberías múltiples dentro de la zanja)	Polietileno de alta densidad	20-40 mm
Intercambiador de calor geotérmico vertical	Uso comercial o aplicaciones de alta demanda energética.	Tubería en U o coaxial; paralelo o serie	15-120 m		10 m	Polietileno de alta densidad o polietileno enlazado de forma cruzada	20-40 mm
Intercambiador de calor geotérmico sumergido	Cualquier sitio con acceso a un estanque, lago o río	Tubería sumergida	2 m		Varios	Polietileno de alta densidad. Otras opciones incluyen intercambiador de placas o sistemas tipo mantel	20-40 mm

Fuente: Servicio de Manejo Ambiental, el grupo de Ciencia GNS y la Autoridad en Conservación y Eficiencia Energética (2014).

Desde la creación del Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica (CEMIE-GEO) a finales de 2014 se han estado haciendo esfuerzos por estimar el potencial geotérmico que tiene México para instalar sistemas de bombas de calor geotérmicas a partir de las temperaturas que se pueden alcanzar en el suelo y subsuelo de México. Como parte de los diferentes proyectos del CEMIE-GEO en octubre de 2018 la Dra. Rosa María Prol Ledesma y un grupo de investigadores del Posgrado en Ciencias de la Tierra, del Instituto de Geofísica de la UNAM y de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo presentaron un mapa del flujo de calor y recursos geotérmicos de México. Prol-Ledesma et al. (2018) estimaron que las zonas con mayor potencial geotérmico son: Cerro Prieto, en Baja California; Tres Vírgenes, en Baja California Sur; los Azufres, en Michoacán; los Humeros, en Puebla y el Domo San Pedro, en Nayarit. Estas zonas se pueden tener flujos de calor superiores a 200 mW/m<sup>2</sup>. En este documento, Prol-Ledesma et al. (2018) calcularon que un pozo localizado en la latitud 19.50729° y longitud -98.84960° en Texcoco, Estado de México podría tener un gradiente geotérmico de 29.4° C/ km, un flujo de calor de 73.6 mW/m<sup>2</sup>, una conductividad térmica del suelo y subsuelo de 2.50 W/mK a una profundidad de 337 m. Esto sería adecuado para instalar bombas de calor con intercambiador de calor geotérmico vertical o horizontal cerrado en las zonas de Texcoco. Pero en pozos más profundos de otras partes del país como son el MEX051 (latitud 19.69° y longitud -97.46°) y el Grad-T-a 34 (latitud 19.78° y longitud -100.76°) Prol-Ledesma et al. (2018) reportaron un flujo de calor de hasta 515.5 y 547.2 mW/m<sup>2</sup> a profundidades de 1700 y 860 m respectivamente.

En abril de 2019, Torres et al. (2019) estimaron que una muestra de la arena de las playas mexicanas con número 30 de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM por sus siglas en inglés) y 600 micras de tamaño podría alcanzar una temperatura de 51.5° C a una profundidad de 10 cm cuando era expuesta a la radiación solar de la ciudad de México. En este estudio los autores concluyeron que la alta temperatura registrada por la arena se debía a factores como la forma del grano, tamaño de grano, color de grano, y contenido de humedad. Además, Torres et al. (2019) indicaron que los granos de cuarzo que estaba presente en la muestra de arena y con forma sub-angular incrementaban los puntos de contacto entre granos lo que facilitaba el flujo de calor y por consecuencia se tenían temperaturas por encima de los 40° C. Con estos resultados se puede estimar un potencial geotérmico de baja profundidad en el cinturón volcánico de México y en algunas playas de los estados de Guerrero y Veracruz.

Carbajal-Martínez (2019) registró una temperatura de entre 70 y 93° C a una profundidad de 10 cm en un área de 1300 m<sup>2</sup> en la playa de la Jolla en Ensenada Baja California. Carbajal-Martínez (2019) dedujo que estas temperaturas de la arena se debían al oleaje del mar y a la descarga de fluidos calientes sobre la arena. Este autor concluyó que a profundidades de entre 1 y 15 m en esta zona el vapor de agua podría alcanzar temperaturas de hasta 180° C. En esta zona se podría enterrar un intercambiador de calor geotérmico horizontal cerrado en forma de U y conectarse a una bomba de calor geotérmica para enfriar viviendas u hoteles cercanos a la costa en la época de verano o

calentarlos en la época de invierno. Con esto se podría aprovechar el potencial geotérmico somero de la zona.

Si se utilizaran enfriadores de líquido por absorción de simple efecto para el enfriamiento de alguna edificación en la zona de la Jolla se podría instalar un intercambiador de calor geotérmico horizontal cerrado en forma de U a una profundidad de 2 m y conectarlo a la entrada del haz de tubos que se sumerge en el generador para que la solución a 102 °C cree vapor de refrigerante a 97 °C. En el caso de los enfriadores de líquido por absorción de doble efecto se podría conectar el intercambiador de calor geotérmico en U al haz de tubos que se sumerge en el generador del primer efecto para que el vapor de refrigerante a aproximadamente 149 °C fluya hacia el generador de baja temperatura del segundo efecto. Los intercambiadores de calor geotérmicos podrían estar hechos de cobre tipo K para soportar temperaturas superiores a 100 °C y presiones de hasta 792.9 kPa.

## Estudios del potencial geotérmico de los sistemas abiertos

El Servicio de Manejo Ambiental, el grupo de Ciencia GNS y la Autoridad en Conservación y Eficiencia Energética también recomendaron los parámetros mostrados en la tabla 2 para el diseño e instalación de sistemas con bomba de calor e intercambiador de calor geotérmico abierto. En esta se puede observar que es importante tomar en cuenta las condiciones del acuífero, los lagos, las lagunas y los ríos del país donde se quieren diseñar e instalar esta clase de sistemas. Como uno de los avances con los que se cuenta hoy en día y que ayudan al estudio de los sistemas abiertos se tienen los Sistemas de Información Geográfica (SIG). De estos se utilizan con bastante frecuencia las interfaces gráficas ARGIS y QGIS, siendo este último más popular porque es de descarga gratuita. Las herramientas computacionales utilizadas por el Sistema de Información Geográfica QGIS para estimar el potencial geotérmico de un acuífero o del subsuelo de una región son QGeoTherTools. Para el caso mexicano partir de las condiciones actuales en que se encuentran los acuíferos es de vital importancia para estimar este potencial geotérmico nacional. La figura 1 muestra un mapa de la distribución de los acuíferos de México en 2018.

**Tabla 2. Parámetros de diseño de los sistemas de bomba decalor e intercambiador de calor geotérmico abierto.**

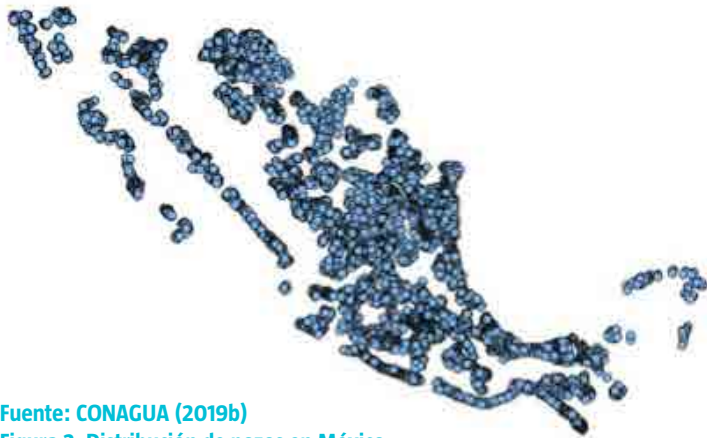
Fuente de calor	Usos comunes	Configuración	Espaciado entre pozos	Material de la tubería
Agua subterránea	Uso comercial o aplicaciones de alta demanda energética	Un solo pozo, doble pozo, pozo de columna	60-180 m	Acero y polietileno de alta densidad
Agua superficial	Uso comercial o aplicaciones de alta demanda energética. Frecuentemente utilizados para el enfriamiento. Requiere el acceso a grandes volúmenes de agua.	Agua de mar, lago o río		

Fuente: Servicio de Manejo Ambiental, el grupo de Ciencia GNS y la Autoridad en Conservación y Eficiencia Energética (2014).



Fuente: CONAGUA (2019a)  
Figura 1. Distribución de acuíferos de México con el uso de la interface QGIS en 2018.

Además de conocer parámetros como la conductividad hidráulica del acuífero se deben conocer la conductividad térmica y la capacidad calorífica volumétrica. Para esta localización se tiene que recurrir a la piezometría (distribución de los pozos) del país por lo que para ello se deberán utilizar metadatos preferentemente en formato vectorial SHP (Shape en inglés), KLM, Raster (TIFF) y Modelos de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés). La figura muestra la distribución de pozos en México en el año 2016.



Fuente: CONAGUA (2019b)  
 Figura 2. Distribución de pozos en México.  
 Mapa de piezometría creado con la interface QGIS.

La localización de los ríos es importante para los sistemas superficiales. Para el caso de México se cuenta con la información proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La figura 3 muestra los ríos, lagos y lagunas de México. Otros mapas importantes a tomar en cuenta en un SIG del acuífero son: la velocidad del agua subterránea, su espesor, transmisividad, gradiente hidráulico, conductividad térmica y capacidad calorífica volumétrica.



Fuente: INEGI (2019)  
 Figura 3. Localización de ríos, lagos y lagunas de México.  
 Mapa de hidrografía creado con la interface QGIS.

### Red Iberoamericana de Geotermia Somera

En junio de 2018 se inicia la conformación de la Red Iberoamericana de Geotermia Somera (RIGS) a cargo de la Dra. María del Mar García Alcaraz investigadora del Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA) y del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). La primera reunión se celebró los días 7 al 11 de octubre de 2019 en las instalaciones de la Universidad de San Martín, en Buenos Aires, República de la Argentina. La red forma parte del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología (CYTED) en su apartado de energía y tiene como objetivo principal contribuir con la instalación, investigación, desarrollo e integración de los sistemas de geotermia somera para el desarrollo de actividades productivas y acondicionamiento térmico de edificaciones de distintos tipos, tanto en zonas urbanas como rurales e industriales, utilizando tecnologías probadas y disponibles en los países de Iberoamérica. Los países integrantes de la red son Argentina, Chile, Colombia, Ecuador, España, México y Uruguay.

Para el caso de México el grupo está integrado por el Dr. David Morillón Gálvez investigador del Instituto de Ingeniería de la UNAM, el Dr. Álvaro Lentz Herrera investigador de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, el Doctor Agustín Torres Rodríguez colaborador externo del Instituto de Ingeniería y el Maestro Oscar Daniel Rivera del Programa de doctorado en Urbanismo de la UNAM.

En la actualidad este grupo de investigación está elaborando los mapas de potencial geotérmico de todo el país. Con los mapas se busca evaluar las condiciones de aplicación de las bombas de calor geotérmica y así identificar sus oportunidades y vulnerabilidades.

## Conclusiones

De acuerdo con los estudios y recomendaciones antes presentadas es tiempo de que México empiece a utilizar el potencial geotérmico para climatizar viviendas y edificios. Especial importancia tienen los trabajos realizados por el grupo de investigadores mexicanos para la elaboración de mapas de potencial geotérmico somero y como parte de uno de los objetivos principales de la RIGS.

El cálculo de este potencial permitirá el mejor aprovechamiento y desarrollo de la tecnología de acuerdo con los recursos naturales de México para que puedan ser utilizados de manera racional y eficiente.

Los trabajos que realiza el CEMIE-GEO también contribuyen con las bases para el uso de la geotermia de baja y muy baja entalpía en México.

## Referencias

---

- [1] Carbajal-Martínez, D. (2019). Exploración geotérmica en el municipio de Ensenada, Baja California, mediante métodos geoquímicos y geofísicos. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- [2] Comisión Nacional del Agua (2019a). Condición de los acuíferos. Consultado el 17 de diciembre de 2019 en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuíferos&ver=mapa&o=1&n=nacional>
- [3] Comisión Nacional del Agua (2019b). Condición de los acuíferos. Consultado el 17 de diciembre de 2019 en: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/red-piezometrica-mapas>
- [4] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2019). Hidrografía. Entidad Estados Unidos Mexicano. Consultado el 17 de diciembre de 2019 en: <https://www.inegi.org.mx/temas/hidrografia/default.html#Descargas>
- [5] Jutglar, L., Miranda, A. L., y Villarrubia, M. (2011). Manual de calefacción (1a. Ed.). Barcelona, España: Ediciones técnicas Marcombo.
- [6] Prol-Ledesma, R. M., Carrillo-de la Cruz, J. L., Torres-Vera, M. A., Membrillo-Abad, A. S., y Espinoza-Ojeda, O. M. (2018). Heat flow map and geothermal resources in Mexico. Terra digitalis International e-journal of maps. 2, Issue (2), 1-15.
- [7] Servicio de Manejo Ambiental, el grupo de Ciencia GNS y la Autoridad en Conservación y Eficiencia Energética (2014). Geothermal Heat Pumps in New Zealand Introductory Technical Guide. (54), 1-60.
- [8] Torres-Rodríguez, A., Morillón-Gálvez, D., Aldama-Ávalos, D., Morales-Ramírez, J.D., García-Kerdán, I. (2019). Predicting the thermal behaviour of sands considering its moisture content and grain size with applications to geothermal heat pump installations. Energy and Buildings, 194, 85-104.