

Avances tecnológicos en edificios de energía cero

Guillermo González Milla, Hugo Pérez Rebolledo e Higinio Acoltzi Acoltzi

Los edificios usan una gran cantidad de energía para operar y son una de las principales fuentes de emisiones contaminantes. Un edificio es un sistema complejo y todos sus componentes contribuyen a la demanda total de energía.

La tecnología para construir edificios de energía cero ya está disponible, pero existen barreras como falta de información o capacitación técnica a arquitectos e ingenieros, para diseñar edificios de alta eficiencia energética.

El presente artículo muestra los avances a la fecha y la prospectiva para el diseño y construcción de edificios de energía cero, así como la problemática para su implementación.

Introducción

En la actualidad, y de acuerdo con los datos de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), el sector edificios contabiliza del 25% al 40% del consumo final de energía en los países miembros, y como son uno de los principales usuarios de energía, se espera que consuman más a medida que la población crezca y se desarrolle la economía.

Ante el reto de disminuir el consumo de energía y las emisiones contaminantes, se han construido en varias partes del mundo los llamados edificios verdes o de baja



El término de edificio de energía cero (EEC) es aplicado a una edificación en donde la cantidad de energía usada en un período definido es proporcionada in situ por fuentes de energía renovables.

energía, que emplean nuevas tecnologías para disminuir dicho consumo.

Como parte de este reto, las compañías líderes en el diseño y construcción de edificios, los fabricantes de equipo e industrias en energía lanzaron un programa de eficiencia energética en edificios con el *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) para contar con soluciones potenciales sobre temas ambientales y sociales, incluyendo la reducción de emisiones de carbono, el uso de combustibles en general, así como proporcionar medidas de seguridad contra futuras crisis de energía.

Como parte de los programas y políticas en el mundo para alentar la construcción de edificios de energía cero, la Unión Europea aprobó, en abril de 2009, la revisión de la directiva que regula el rendimiento energético de los edificios, para que todas las construcciones residenciales, de oficinas y de servicios que se construyan en la Unión Europea a partir de 2019 sean prácticamente de energía cero, y el plazo se adelanta para 2017 en edificios públicos de nueva construcción. El texto define estos edificios como construcciones “en las que, como resultado de un alto nivel de eficiencia energética, el consumo anual de energía es igual o menor que la producción energética procedente de fuentes renovables situadas en la propia edificación”.

También el Departamento de Energía (DOE, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos, ha desarrollado un programa estratégico para crear tecnología que lleve a un mercado de energía cero en el sector residencial en 2020 y en edificios comerciales en 2025.

Desarrollo

El término de edificio de energía cero (EEC) se atribuye a una edificación en donde la cantidad de energía usada en un período definido es proporcionada en sitio por fuentes de energía renovables. Así, la visión de un EEC es acumular tanta energía de fuentes renovables como la cantidad de energía que usa, manteniendo un nivel aceptable de servicio y funcionalidad. Además, los edificios pueden cambiar energía con la red de suministro en tanto se mantenga un balance neto de energía cero en el período definido.

Sin embargo, el consumo de energía de un EEC puede ser definido o medido de varias formas, como son:

Energía cero en sitio. En este tipo de EEC la cantidad de energía producida por fuentes de energía renovables es al menos tanta como la que se usa en un año.

Energía cero neta. Un edificio puede considerarse EEC si el 100% de la energía que compra proviene de fuentes de energías renovables, aunque la energía no se genere en sitio.

Emisiones de energía cero. El EEC produce (o compra) suficiente energía libre de emisiones para compensar las emisiones de toda la energía usada en un año.

Costo cero de energía. En un EEC de este tipo el costo de comprar energía es balanceado por la venta de electricidad generada en sitio. Esta definición, como la de energía cero en sitio, es fácil de verificar con los recibos de la suministradora.

Dependiendo de la definición de EEC los resultados de una evaluación pueden variar sustancialmente, ya que cada definición tiene una serie de ventajas y desventajas. Sin embargo, la idea principal en un EEC es que las necesidades de energía sean reducidas en gran medida a través de ganancias de eficiencia, de tal forma que pueda cubrir todas sus necesidades de energía desde fuentes sin contaminación y renovables.

La idea detrás de los EEC es muy simple: consiste en diseñar el edificio para que sea muy eficiente, haciendo uso de la luz natural, los aislamientos y equipos eficientes que usen tan poca energía como sea posible, así como generar el resto de la energía necesaria usando energías renovables en sitio. Además, la energía extra generada en el edificio puede ser vendida a la red para compensar cualquier energía que pueda ser comprada.

En la actualidad, los EEC construidos tienen una serie de características y conceptos de diseño, entre los que destacan:

Eficiencia. La energía evitada en un EEC es energía que el edificio no tiene que producir. Los pasos para alcanzar la máxima eficiencia son:

- Reducción de carga: Reducir cada carga consumidora de energía al mínimo y eliminar las cargas innecesarias.
- Eficiencia del sistema: Cubrir las cargas remanentes tan eficientemente como sea posible. Optimizar la eficiencia del sistema como un todo.
- Sistemas regenerativos: Usar la energía de desperdicio para propósitos útiles.
- Sistemas renovables: Generar energía de fuentes renovables.

Diseño integrado. Los EEC alcanzan sus metas cuando los involucrados (propietarios, arquitectos, ingenieros y contratistas) colaboran en el diseño y la construcción.

Energía renovable en sitio como prioridad. La energía renovable generada en



sitio tiene la mayor duración en la vida del edificio y conlleva a las menores pérdidas de la red, comparadas con las fuentes de la suministradora. Las unidades para generación de energía renovable son más pequeñas y es posible obtener una variedad de beneficios económicos, que incluyen mejoras en la instalación, confiabilidad del sistema, mejor adecuación a la curva de demanda, entre otros. Además, se disminuyen los costos y las pérdidas de energía debido a su cercanía a la carga final.

Posibilidad de conectar a la red. Dependiendo de la capacidad de las fuentes de energía renovable, los EEC pueden vender energía a la suministradora en determinados horarios y épocas del año.

Monitoreo y verificación. Una vez que el EEC está en servicio, son necesarios el monitoreo y la verificación para corroborar los valores de diseño, así como para identificar y corregir errores en la construcción o funcionamiento de los sistemas.

Para el diseño, construcción y operación de un EEC se toma en cuenta:

- **Clima.** Se considera la temperatura, la humedad, si la zona es clara o nublada y durante cuánto tiempo, para determinar si el edificio puede hacer uso de la luz natural o si hay la necesidad de instalar persianas.
- **Iluminación natural.** Es una de las estrategias primarias para la reducción de las necesidades de energía. Entre las diferentes formas para proporcionar iluminación natural se encuentran las ventanas verticales, las cubiertas para vidrios, los dispositivos de sombreado, los atrios, los tragaluces, la luz cenital del techo prismática y los ductos de luz.

- **Ganancias de calor internas.** Se consideran las ganancias de calor de los ocupantes, el alumbrado y el equipo eléctrico, los cuales pueden ser pensados como un clima interior.
- **Tamaño del edificio y envolvente.** Se evalúan los tipos de materiales de construcción para paredes, ventanas, pisos, techos, así como las particiones internas, entre otros aspectos.
- **Necesidades de iluminación.** Se identifican las necesidades de iluminación en forma cuantitativa y cualitativa, dependiendo de las actividades realizadas en el edificio.
- **Fuentes renovables para generación de energía.** Se analiza el uso de opciones útiles para producir electricidad a través de energía solar (colectores de sol y celdas fotovoltaicas), energía eólica y energía geotérmica (bombas de calor). Además, se considera si la energía será producida en sitio y/o importada desde otros puntos.
- **Fuentes ininterrumpibles de energía.** Se considera el uso de fuentes ininterrumpibles de potencia (UPS, por sus siglas en inglés), celdas de combustible o baterías para proporcionar electri-

cidad todo el tiempo a aparatos críticos o vitales.

- **Horas de operación del edificio.** Se analizan las horas de operación con base en metros cuadrados.
- **Costos de energía.** El costo de la energía, en particular el costo de la energía eléctrica, es un factor crítico para diseñar las estrategias de diseño.
- **Análisis del ciclo de vida.** En éste no sólo se considera la vida útil de los bienes, sino también los ahorros de energía obtenidos, así como las emisiones contaminantes evitadas.

Un avance tecnológico importante en los EEC es el uso de herramientas de simulación computarizadas, que permiten a los diseñadores tomar en cuenta las variables anteriormente mencionadas. Además, ayudan a conocer cómo trabajará el edificio antes de construirlo, permitiendo modelar implicaciones financieras en su costo.

En la propuesta de diseño de un EEC el edificio es dividido en subsistemas y cada decisión sobre la selección de uno de éstos es evaluada en términos de sus futuras consecuencias en demanda de energía, para



ello se utiliza un análisis de ciclo de vida de energía. No obstante, los diseñadores del EEC deben estar preparados para incrementar los costos de construcción en caso de reducción de la demanda de energía y costos de operación por una igual o mayor cantidad.

Usualmente, los principales subsistemas consumidores de energía en un edificio son los de aire acondicionado y calefacción (HVAC, por sus siglas en inglés), así como los de iluminación.

Para el diseño del sistema HVAC es necesario recordar que se debe mantener el clima interior en niveles aceptables para la mayoría de la gente. El diseño hace esencial el control de la temperatura interior, la cual no debe ser demasiado caliente en invierno ni demasiado fría en verano. También es necesario proporcionar control de la temperatura, pureza del aire, tasas de ventilación en ciertas áreas, control de humedad, difusión del aire dentro de cada zona, entre otros aspectos.

Con una significativa cantidad de equipo electrónico en el edificio, el sistema HVAC necesita manejar el incremento de ganancia de calor comúnmente asociado con estos equipos. En algunos casos este calor puede recuperarse de los espacios donde es generado y usarse para reducir otras necesidades de energía primaria, tales como el precalentamiento o calentamiento de agua.

El diseño de los sistemas HVAC debe incluir las especificaciones de equipos con alta eficiencia y controles que regulen el sistema para permitir cualquier operación, sólo cuando ésta sea necesaria, considerando que todos los elementos del sistema pueden incrementar el confort de los

ocupantes del edificio mientras se reducen los costos. Los nuevos diseños de sistemas HVAC incluyen al menos dos de los siguientes equipos y/o sistemas: unidades de paquete, bombas de calor, intercambiadores para enfriamiento de agua, variadores de velocidad en sistemas de ventilación y bombas, controladores de demanda de ventilación, motores *Premium*, entre otros.

Para el sistema de iluminación las nuevas tecnologías en lámparas, balastros, luminarias y controles permiten realizar una gran cantidad de arreglos para disminuir el uso de la energía. Por ejemplo, las lámparas fluorescentes lineales en tubos T8 y T5, así como las de descarga de alta intensidad (HID) en bajas potencias, proporcionan mayor cantidad de luz con menos demanda y consumo de energía.

Por su parte, las nuevas generaciones de balastros electrónicos tienen una gran variedad de funciones que pueden ser controladas conforme a las necesidades del edificio: apagado/encendido automático, atenuación, etc.

Asimismo, el uso de luminarias tipo espejular, las cuales usan materiales con terminados brillantes para reducir una superficie reflectora altamente pulida, como un espejo, ayudan a reducir el número de luminarias requeridas para alcanzar el nivel y la calidad de iluminación deseada.

La última parte del sistema de alumbrado la constituyen los controles, los cuales pueden ser de tiempo, presencia o luz natural. Los controles de tiempo permiten que cualquier grupo de luminarias o lámparas sean apagadas o encendidas de forma automática en tiempos establecidos. Los detectores de presencia encienden automática-

mente la luz cuando alguien entra al espacio (oficina, sala) y la apagan después de que el espacio ha sido dejado. Los sensores de luz natural permiten a grupos de luminarias o lámparas ser apagados y encendidos de acuerdo a la luz natural existente. Además, algunas lámparas pueden ser atenuadas a medida que cambian los niveles de luz y los controles, independientemente que puedan trabajar sólo en una zona, pueden agruparse para trabajar en forma automática y estar entrelazados con un sistema de administración de la energía.

Los sistemas de potencia, HVAC y alumbrado deben ser controlados para permitir un funcionamiento más eficiente y tener el máximo beneficio, por eso, donde se requiere un control flexible se usan controladores programables, que varían de dispositivos simples (similares a los relojes multifunción) hasta dispositivos basados en microprocesadores totalmente programables en pequeñas computadoras.

Asimismo, para el control de todos los subsistemas que integran un EEC se emplea un sistema de administración de la energía para supervisar y controlar la operación del edificio, como la energía, seguridad y vigilancia. En el más amplio sentido, un sistema de administración integrado para un edificio puede contener:

a) Sistema de monitoreo y control

- Monitoreo del sistema eléctrico.
- Medidor de demanda y consumo.
- Control de alumbrado exterior.
- Detección de vehículos y sistema de barrido.
- Sistema de monitoreo de fuego y monitoreo de bombas contra incendio.

- Sistema de monitoreo de nivel de elevadores.
- Control de motor y monitoreo de nivel de agua.
- Sistema de monitoreo de UPS.
- Disponibilidad para integración de sistemas BAS.

b) Sistema de seguridad y vigilancia

- Panel de alarma de fuego (alarma y detección).
- Sistema de comunicación de voz (público y de emergencia).
- Sistema de control de acceso y barreras plegables basadas en tarjetas inteligentes.
- Barreras a vehículos basadas en etiquetas (cuatro ruedas).
- Sistema de administración de visitantes con foto y tarjeta en la puerta de seguridad.

Asimismo, dentro de los sistemas de administración y control se pueden tener las siguientes estrategias para el ahorro de energía.

- **Arranque/paro en horario fijo.** Los equipos sujetos a este tipo de programa arrancan y paran automáticamente de acuerdo a las necesidades específicas de los usuarios del edificio, por ejemplo: equipos de aire acondicionado.
- **Arranque/paro en función del calendario.** Con un programa de este tipo, el sistema reconoce el día de la semana que es y los días festivos, y en función de ellos determina, de acuerdo a su programación, el arranque o paro de los equipos o sistemas.
- **Desconexión cíclica de cargas.** El objetivo de esta técnica es reducir las horas

de funcionamiento de las cargas mediante paradas intermitentes debidamente controladas, para obtener una curva de consumo más uniforme. Este programa combina un horario cíclico diario de arranques y paros de las distintas cargas, relacionando su operación con el horario de trabajo del edificio. El programa puede modificarse automáticamente en función de las condiciones ambientales o por la limitación de demanda eléctrica.

- **Control de picos de consumo.** Este programa evita los picos de carga, aprovechando de una forma racional y constante la potencia controlada, mediante un programa en el que la demanda de potencia no sobrepase la contratada y desconectando, automáticamente, algunas cargas predeterminadas.
- **Control de alumbrado.** A través de un sistema automatizado para el alumbrado se permite el encendido y apagado de la iluminación de forma automática, con base en los programas de uso de las diferentes áreas o en función de los niveles de iluminación adecuados a la utilización del área en cuestión.
- **Aire acondicionado.** Optimiza el arranque o paro en función de las condiciones interiores y exteriores, así como con una programación diaria o semanal de horas de ocupación y días festivos.

• Aprovechamiento del aire exterior.

Cuando la utilización del aire de recirculación (procedente de los lugares ya acondicionados) sea ambientalmente aceptable, debe pensarse en un elemento controlador que seleccione, en función de las condiciones exteriores y las de retorno, aquellas opciones que sean energéticamente más baratas para el proceso de climatización perseguido.

Actualmente se están construyendo alrededor del mundo EEC prototipos, los cuales están siendo monitoreados para comprobar su consumo energético. Por ejemplo, en Europa, actualmente hay más de 6 mil edificios solares, principalmente en Alemania y otros países del norte. Si bien estos edificios aún no son de energía cero, sus necesidades energéticas para calefacción son típicamente 75% más bajas que las normales. Por su parte, países como Francia, España e Inglaterra han aprobado políticas nacionales enfocadas a conseguir recortes ambiciosos en el consumo de energía de sus edificios de aquí a 2020.

Sin embargo, no se debe perder de vista que para mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones contaminantes también hay que actuar sobre los edificios existentes, lo cual, en algunos casos, puede ser un gran desafío.



Problemática

Para la construcción de edificios de energía cero existen limitaciones, las cuales se están tratando de eliminar, algunas son:

- Establecer parámetros de medición de la eficiencia energética con base al consumo de energía (por costo, energía y emisiones contaminantes).
- Desarrollo de especialistas y empresas expertas en el diseño y construcción de edificios con energías renovables y altamente eficientes.
- Desarrollar una normatividad para otorgar incentivos por el uso de fuentes renovables en edificios, como pueden ser reducciones de impuestos de los bienes y servicios ligados a la eficiencia energética y las energías renovables.
- Desarrollar esquemas para proporcionar apoyo financiero que hagan atractivas las inversiones de edificios de energía cero.
- Evaluar la estructura de tarifas eléctricas y desarrollar los esquemas de precios que incentiven el ahorro de energía.
- Subsidiar programas de Investigación y Desarrollo (I&D) para nuevos diseños, tecnologías y materiales para el ahorro de energía, así como apoyo para su comercialización.

No obstante el desarrollo alcanzado en la construcción de edificios de cero energía, será necesario realizar mejoras e innovación tecnológica en los siguientes temas:

Producción de energía en sitio

- Sistemas de almacenamiento eléctrico y térmico.
- Sistemas renovables de energía más eficientes y menos costosos.

- Sistemas de energía renovable conectar y usar (*plug and play*).
- Sistemas de producción de calor y electricidad (CHP, por sus siglas en inglés) avanzados.
- Sistemas inteligentes para interconectar sistemas renovables.
- Normas efectivas de interconexión e interfaz.

Inteligencia en el edificio

- Estrategias de control robustas, adaptables y autoconfigurables.
- Nuevos sensores autocomprobables de bajo costo.
- Modelos inteligentes y sistemas con retroalimentación.
- Tecnologías que permitan la optimización total del edificio.
- Medición integrada barata.

Edificio completo

- Diseño completo del edificio y métodos para una integración efectiva de generación de energía, referentes al envoltente térmico.
- *Software* de evaluación de desempeño, bases de datos y herramientas de ciclo de vida.
- Controles/sensores para monitorear aire, gas, agua y partículas volátiles.
- Tecnologías pasivas de limpieza de aire.

Envoltente del edificio

- Mayor aprovechamiento de la luz natural.
- Integración de sensores inalámbricos.
- Materiales cero emisiones y procesos de clasificación.
- Materiales del edificio con alto valor de resistividad térmica.

- Diseño avanzado y métodos de construcción para incrementar calidad y eficiencia.
- Materiales y ensambles tolerantes a mezclas.

Equipo del edificio

- Sensores y transmisores inalámbricos de larga vida y baratos.
- Equipos y/o sistemas con detección/diagnóstico de falla.
- Puesta en marcha automatizada de edificio/equipo.
- Mejores funciones eléctricas para equipos con potencia en espera.
- Herramientas de diseño para dimensionar tamaño.
- Control y uso mejorado del sistema de agua.

Conclusiones

La construcción de edificios de energía cero es altamente importante a largo plazo. Si bien es cierto que ya existe la tecnología para la construcción de este tipo de edificios, es necesario considerar que para su diseño y construcción se debe contar con personal especializado que realice una integración cuidadosa de todos los elementos que conforman un EEC. También deben realizarse análisis cuidadosos a través de herramientas de simulación, así como el análisis del ciclo de vida para el diseño y operación del edificio.

Además, están surgiendo nuevas tecnologías que podrían conducir a grandes cambios en el sector edificios, como son: sistemas de producción combinada de calor y electricidad en pequeña escala para calefacción y refrigeración, calderas de gas

de condensación mejoradas y bombas de calor alimentadas con gas.

No obstante, para ganar aceptación y hacer atractivas las inversiones en edificios de energía cero se requiere de soporte o regulaciones por parte del sector gubernamental, esquemas de financiamiento por parte del sector público y privado, así como el desarrollo de normas o un significativo incremento en la tarifas.

Referencias

Environmentally sustainable Buildings: Challenges and Politics. OECD 2003.

Informe sobre el desarrollo mundial 2010: Desarrollo y cambio climático. World Bank 2010.

Barley C.D.; Deru M; Pless S. y Torcellini P. *Procedure for Measuring and Reporting Commercial Building Energy Performance.* Technical Report NREL/TP-550-38601. Golden, CO: National Renewable Energy, 2005.

Torcellini P; Pless S. y Deru M. *Zero Energy Buildings: A critical look at the definition.* Conference paper ACEEE, Summer study, 2006.

Vision 2050 Full report. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

Directiva 2009/28 CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 23 abril de 2001, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por lo que se derogan las directrices 2001/77/CE y 2003/30/CE.

Vision 2050 the new agenda for business. World Business for sustainable Development (WBCSD).

Measurement Science Roadmap for Net-zero energy buildings. Workshop summary report, National Institute of Standards and Technology, March 2010.

Janssen R. *Towards Energy Efficient Buildings in Europe Final report 2004.* The European Alliance of companies for Energy Efficiency in Buildings.



GUILLERMO GONZÁLEZ MILLA

Ingeniero Electricista egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional en 1974. Durante 18 años trabajó en la iniciativa privada en las áreas de mantenimiento e ingeniería de diseño y construcción. De 1992 a 2011 laboró como investigador de la Gerencia de Uso de Energía Eléctrica del IIE en el área de eficiencia energética. Ha colaborado en la elaboración de las Normas Oficiales Mexicanas NOM-007 y NOM-013, así como en la elaboración de diagnósticos energéticos en edificios públicos y privados.



HUGO PÉREZ REBOLLEDO

[hpr@iie.org.mx]

Ingeniero Mecánico Electricista por la Unidad Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana. Obtuvo los grados de Maestro y Doctor en la Universidad de Uppsala, Suecia, en las especialidades de Ingeniería Eléctrica en Alto Voltaje y Compatibilidad Electromagnética. En 1981 se integró al IIE, participando en diferentes proyectos de investigación, de aplicaciones tecnológicas y asesorías especializadas en sistemas de trans-

misión y distribución de energía eléctrica, coordinación de aislamiento, redes de tierra y calidad de la energía. Ha publicado cerca de 30 artículos dentro de estas áreas y ha asesorado en el desarrollo de tesis a estudiantes de licenciatura y maestría. Ha impartido cursos en diferentes foros y participado como coordinador del Comité de Estudios 36 de “Compatibilidad Electromagnética” de CIGRÉ en México, así como miembro observador en el Comité Internacional (período 2000-2002). Es miembro de la IEEE y desde 1999 es Gerente de Uso de Energía Eléctrica de la División de Sistemas Eléctricos del IIE.



HIGINIO ACOLTZI ACOLTZI

[acoltzi@iie.org.mx]

Ingeniero Electromecánico egresado del Instituto Tecnológico de Apizaco en 1992. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica, Opción Térmica, en 2000, en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Desde 1994 es investigador en la Gerencia de Uso de Energía Eléctrica del IIE. Durante agosto de 2008 a junio de 2009 se desempeñó como subdirector de normas y certificación de productos de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE). Ha participado en el desarrollo del soporte técnico y económico para la elaboración y revisión de Normas de Eficiencia Energética y los Métodos de Prueba asociados. Ha instrumentado e implementado programas de monitoreo de variables eléctricas en laboratorio y en campo. Ha sido representante técnico del IIE en CONUEE, FIDE, ANCE y FIPATERM. En 2010 participó como experto técnico representando a México en la iniciativa voluntaria de Revisión de Pares sobre Eficiencia Energética en Taipéi Chino (*Free Review on Energy Efficiency*, PREE), organizado por el mecanismo de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC). En los últimos años ha dirigido proyectos de diagnósticos energéticos integrales para PEMEX.