

RESULTADOS DE PROCESOS DE SIMULACIÓN EN PROCESO DE INVESTIGACIÓN NZEB, PRIMER AÑO DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Expositor

Luis Aarón Martínez

Investigadores

Luis Aarón Martínez

Mario Chávez

Carlos Mario Flores

Julio Samayoa

Departamento de Ciencias Energéticas y Fluídicas

Lizeth Rodríguez Rodríguez

Arturo Cisneros

Departamento de Organización del Espacio

1. Introducción

Un edificio cero energía neta (NZEB, por sus siglas en inglés) es una construcción que combina eficiencia energética en todas sus áreas con el uso de energías renovables, logrando un autoabastecimiento energético neto contabilizado anualmente (Sartori y otros, 2010). En Centroamérica y el Caribe se cuenta, en teoría, con condiciones climáticas que facilitarían la implementación de estas construcciones. Dichas condiciones incluyen una alta incidencia solar y climas tropicales moderados en ciertas regiones. Aunque el interés en este concepto es creciente, su implementación es incipiente por diversas razones: insuficiente información, limitados proyectos piloto y la incertidumbre sobre los costos asociados. En 2019, se diseñó y construyó un prototipo experimental NZEB en el campus de la UCA en El Salvador, denominado NZEB El Salvador (Martínez y otros, 2018). Con

el proyecto se buscaba estudiar a profundidad los factores que permitirían la implementación a gran escala de construcciones de cero emisiones, caracterizando el desempeño energético, térmico y ambiental bajo condiciones reales. El presente resumen abordará I) Procesos de simulación y medición del NZEB El Salvador y II) Análisis de ciclo de vida del NZEB El Salvador.

2. Metodología

Parte I: Procesos de simulación y medición del NZEB El Salvador

El objetivo de la primera parte es estudiar paramétricamente qué características de diseño son requeridas en diez ubicaciones en la región para lograr un edificio cero energía neta. Además, interesa determinar lo óptimo desde la perspectiva del costo de ciclo de vida, a modo de iniciar una discusión sobre nuevos

códigos de construcción que incentiven este tipo de edificaciones (Hernández y otros, 2020). Finalmente, interesa caracterizar el desempeño observado del prototipo construido en la UCA bajo condiciones reales durante el primer año de operaciones.

Se optó por una metodología de simulación numérica, empleando programas comerciales, combinado con una parametrización y optimización donde se utilizaron herramientas disponibles de código abierto. Se consideró como función objetivo el costo de ciclo de vida (LCC, por sus siglas en inglés) que es definido como la suma en valor presente del costo de construcción y costo de operación durante la vida útil del edificio. Para este cálculo, se consideró un periodo de 30 años y una tasa nominal de descuento de 5%. Se seleccionó un grupo de ciudades de la región de Centroamérica y el Caribe para el estudio, así se analizaron los resultados en busca de generalizaciones sobre el diseño óptimo. En la parte de mediciones, se analizó la información reportada por el sistema de información energética y térmica, con lo cual está equipado el edificio durante el periodo de junio 2019 a enero 2020, a modo de calcular el balance energético real.

Parte II: Análisis de ciclo de vida en NZEB El Salvador

La norma ISO 14040 (AENOR, 2006) establece que el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) evalúa los impactos ambientales potenciales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto o servicio desde la extracción de materias primas, pasando por la producción y uso, hasta el tratamiento final. El ACV puede ayudar en la toma de decisiones en etapa temprana de diseño, ya que aporta información a través de un proceso de entradas y salidas de flujos de información generadas por el proyecto, pero también puede contribuir a retroalimentar las metodologías de diseño, ya que brinda indicadores de desempeño ambiental si su aplicación se realiza en etapa de funcionamiento.

En el caso de Laboratorio NZEB El Salvador, se realizó el ACV posterior a un año de mediciones

energéticas en su etapa de uso y funcionamiento, a través de la dirección de un Trabajo de Graduación realizado por Raquel Rodríguez, Carlos González y Rafael Javier. El ACV fue posible gracias a que ya se contaba con la información de las etapas de diseño, construcción y uso, de tal forma que con base en los documentos de diseño se realizó la proyección de escenarios de fin de vida útil.

El edificio NZEB es una herramienta en el proyecto de investigación de edificios de cero energía neta; por lo tanto, el consumo total energético en todas sus etapas de ciclo de vida es el principal interés del estudio, pero también tomando en cuenta los datos de United Nations Environment Programme, Buildings and Climate Change (Chau y otros, 2015) que indica que los edificios son la causa del 33% de las emisiones de carbono, 30% de consumo de materias primas y del 25% de generación de desechos, es que se evalúa la huella de carbono del laboratorio NZEB a través de la contabilización de las emisiones de CO₂ en cada una de sus etapas de ciclo de vida, el cual se resume en 4 fases de trabajo:

1. Desglose de sistemas constructivos y componentes del edificio NZEB: el edificio se dividió en 16 sistemas que se agrupan en cinco: cimentaciones, estructura, envolvente (fachadas), techo e instalaciones.
2. Consideraciones para la etapa de uso: se toma en cuenta el mantenimiento, el consumo y generación energética anual, se proyecta una vida útil de 50 años. Los datos procesados de consumo y generación fueron tomados de las aportaciones de dos trabajos de graduación de Ingeniería Mecánica, que a la vez habían sido contrastados con datos de simulación energética de la etapa de diseño.
3. Posibles escenarios de disposición final: consumada la vida útil del edificio, se plantean dos escenarios, el primero es disposición final de todos sus componentes en relleno sanitario, mientras que el segundo es un desmontaje controlado en el que se estimaron los porcentajes de reciclabilidad

y reutilización de los componentes para evitar tornarse en desechos.

4. Simulación con software SimaPro versión faculty: el alcance de análisis del ciclo de vida por metodología de simulación se basa en la visión de economía circular, tomando en cuenta los impactos desde la extracción de materias primas, fabricación de materiales (incorporados), construcción, etapa de uso y disposición final con escenario de reciclaje y reúso que cierra el ciclo y disminuye la generación de desechos para convertirlos en nuevas fuentes de materia prima. La base de datos ICE se toma de Ecoinvent adaptada a la matriz energética de El Salvador.

5. Resultados

Parte I: Procesos de simulación y medición del NZEB El Salvador

Para las 10 ciudades estudiadas, se realizó un proceso de optimización numérica que permitió determinar las características de diseño que admitirían el mínimo costo de ciclo de vida. Se encontró que, para la mayoría de las ubicaciones

estudiadas, los parámetros que determinan la propuesta del caso óptimo se repetían o variaban muy poco. Debido a esto es posible hablar sobre un modelo generalizado óptimo NZEB para la región. Este sería un primer paso en la estandarización de la construcción de este tipo de edificaciones. Las características del mismo fueron presentadas en la Tabla 1. Debe entenderse que los resultados no son estáticos, pues se han usado valores actuales de precios de materiales, equipos y costo de la energía, todos ellos sujetos a variaciones. Aun considerando dichas variaciones, se puede esperar que con el paso del tiempo dichos precios tiendan a la baja, haciendo más viable el concepto NZEB. Posibles incrementos en el costo de la energía también viabilizarían los NZEB. Con relación al balance energético real obtenido de mediciones, la Figura 3 muestra los resultados obtenidos para el periodo de estudio, así se concluye que el edificio ha operado todos los meses con un balance energético positivo, generando más energía de la que consume. Los valores reportados son congruentes con las simulaciones energéticas realizadas.

Tabla 1. Características óptimas para las ciudades estudiadas

Características de la envolvente	Valores
Tipo de aislante.	Poliuretano.
Espesor de aislamiento en paredes.	Entre 4 y 8 cm.
Conductividad del aislante.	0.028 W/m K.
Espesor de aislamiento en techo.	Entre 1.5 y 2 pulgadas.
Conductividad en techo.	Entre 0.009-0.011 W/m K.
Conductividad de ventanas.	Entre 0.027-0.034 W/m K.
SHGC de ventanas.	0.25-0.31
LT de ventanas.	0.24-0.35
Tipo de equipo.	VRF
COP.	Igual o mayores a 4.
Control de iluminación.	Continuo.
Tipo de energía renovable.	SFV.

Figura 1. Balance energético anual para modelo optimizado para cinco ciudades.

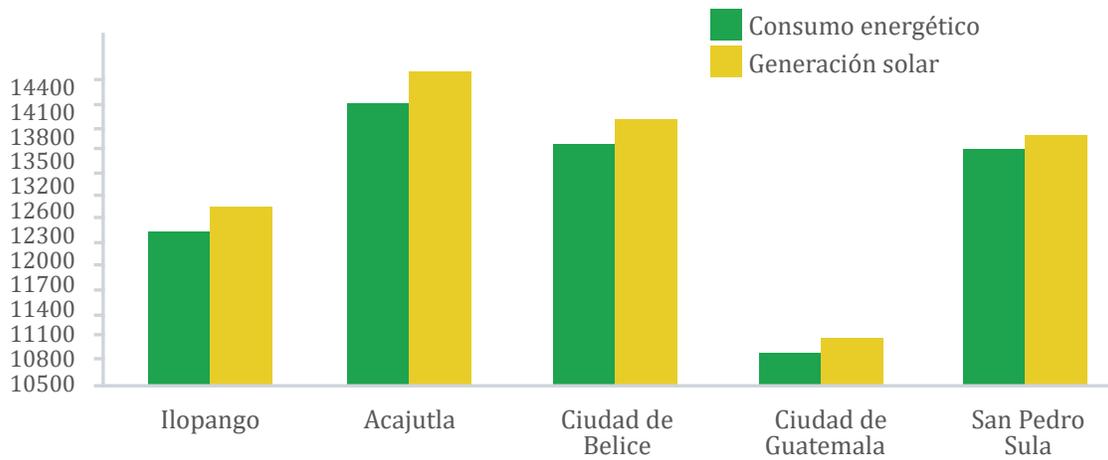


Figura 2. Balance energético anual para modelo optimizado para cinco ciudades.

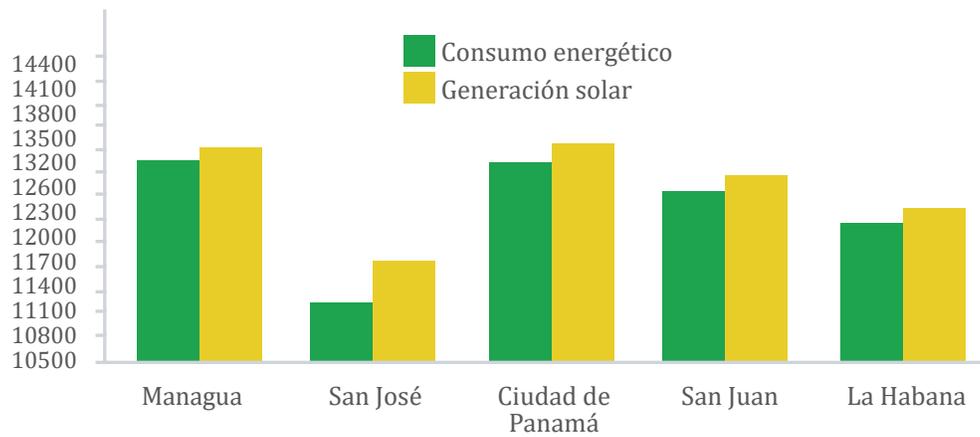
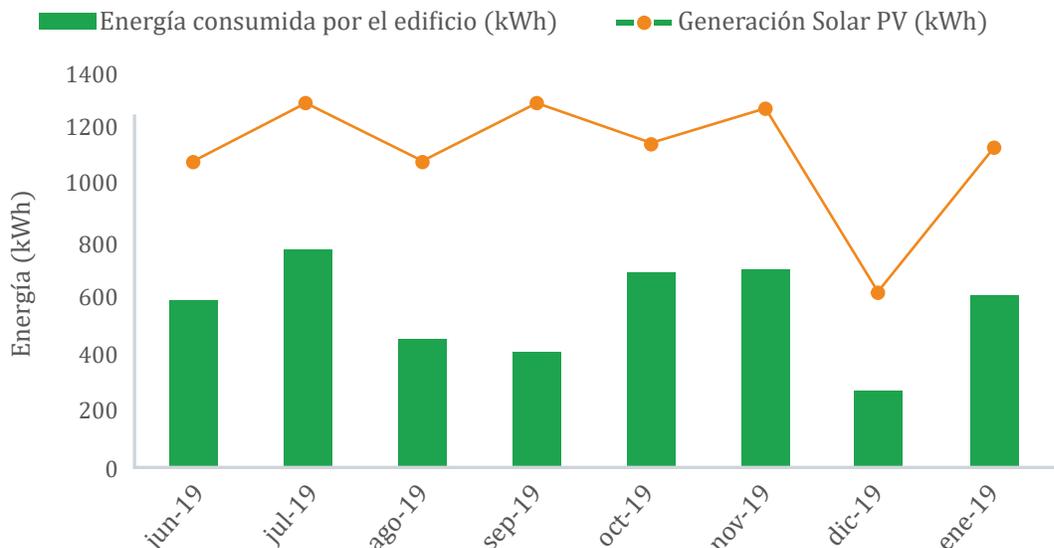


Figura 3. Balance energético real para edificio NZEB El Salvador para el periodo de análisis.



Parte II: Análisis de ciclo de vida en NZEB El Salvador

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis de ciclo de vida por metro cuadrado con proyección de ciclo de vida de 50 años. Siendo estos valores muy bajos con relación a los promedios de 900 kgCO₂e /m² de la casa prototipo LCCM del proyecto de investigación japonés Life Cycle Carbon Minus (Takase y otros, 2013). Puede observarse que la etapa que más genera

impactos es la de impactos incorporados en los materiales; asimismo, son revertidos gracias a que en la etapa de uso y en escenario final hay un alto potencial de evitar impactos, tanto por el uso de recurso de fuente renovable como el cierre del ciclo en materiales. Este hecho confirma la hipótesis de que un edificio de cero energía neta contribuye a disminuir la huella de carbono y que es posible su implementación en la latitud de El Salvador (ver Figuras 4 y 5)

Tabla 2. Resultados de análisis de ciclo de vida

Resultados	Impactos kgCO ₂ e/m ²	Impactos MJ/m ²
Con escenario de disposición final 1.	548.80	5,290.20
Con escenario de disposición final 2.	244.60	-2,322.00

Figura 4. Toneladas de CO₂ en cada etapa de ciclo de vida NZEB.

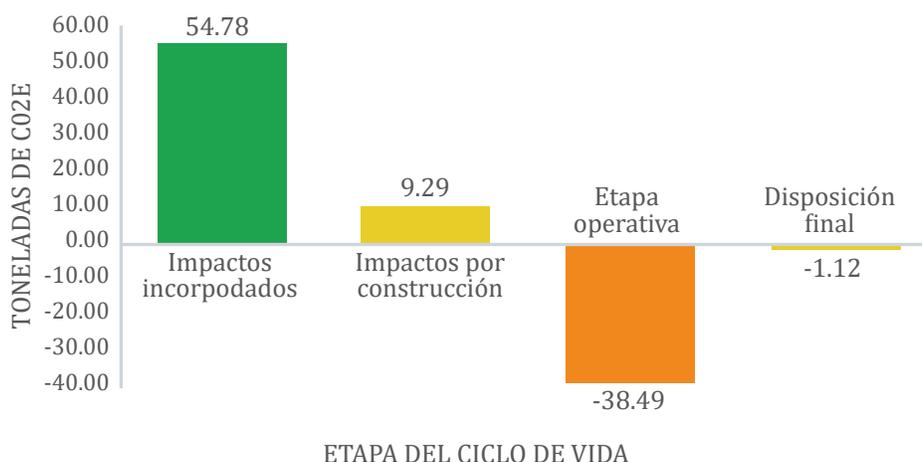
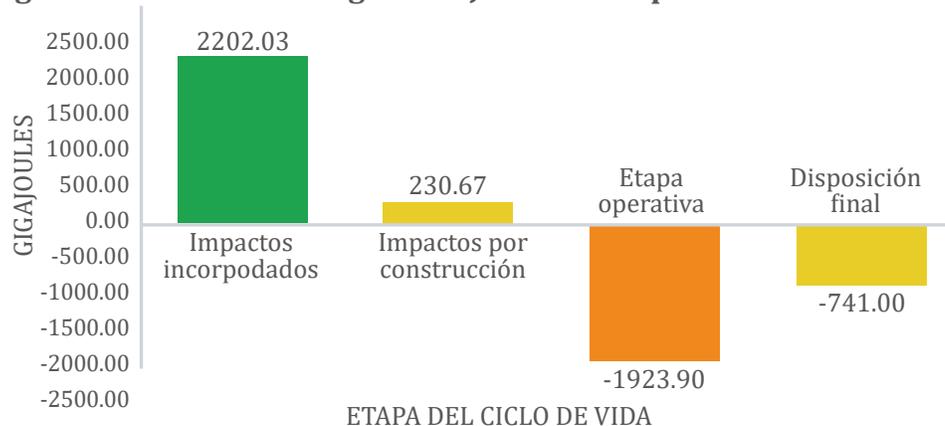


Figura 5. Valores de energía en MJ en cada etapa de ciclo de vida NZEB.



Referencias bibliográficas

AENOR, A. E. de N. y C. (2006). Norma UNE-EN 14040:2006. *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia.* (ISO 14040:2006) UNE-EN 14040:2006.

Chau, C. K., Leung, T. M., & Ng, W. Y. (2015). A review on life cycle assessment, life cycle energy assessment and life cycle carbon emissions assessment on buildings. *Applied Energy*, 143 (1), pp. 395-413. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.023>

Hernández, F. A., Lemus, I. A., Solano, F. E., & Martínez, L. A. (2020). *¿ Qué características se requieren para que un edificio sea cero energía neta con un costo mínimo de ciclo de vida en la región de Centroamérica y el Caribe?* S. E.

Martínez, L. A., Romero, C. M., Castellanos, F. A., Chávez, M. W., Flores, C. M., Rodríguez, L. y Ariza, R. I. (2018). Energy Simulation of Proposed Net Zero Energy Laboratory Building in Central America. In *2018 IEEE 38th Central America and Panama Convention (CONCAPAN XXXVIII)*, pp. 1-6. IEEE.

Sartori, I., Napolitano, A., Marszal, A. J., Pless, S., Torcellini, P., & Voss, K. (2010). Criteria for definition of net zero energy buildings. In *International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings* (EuroSun, 2010).

Takase, K., Nakagawa, A., Kuwasawa, Y., Mae, M., & Murakami, S. (2013). The result of experimental residence in LCCM demonstration house. *AIJ Journal of Technology and Design*, 19 (42), pp. 661-664.