

La construcción de edificios con consumo casi nulo (NZEB). Revisión de definiciones y determinación de sus balances energéticos mediante simulación

Nearly zero energy building (NZEB). A review of definitions and identification of the energy balances by means of simulation

Francisco Hipólito-Ojalvo, Carlos Roncero-Clemente, Luis-Alberto Horrillo-Horrillo y Diego Carmona-Fernández
 Universidad de Extremadura (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8285>

INTRODUCCIÓN

El impacto significativo del sector de la construcción en el consumo de energía y en el medio ambiente en Estados Unidos y en Europa y, específicamente en España durante la vida útil del edificio [1], (incluso durante la construcción y demolición del mismo), ha llevado al establecimiento de diferentes objetivos que permitan disminuirlo.

A nivel europeo, [2] incorpora la exigencia de que todos los edificios públicos nuevos sean edificios de consumo casi

nulo (Nearly Zero Energy Buildings, NZEB) en 2018 y el resto en 2020, además de establecer, entre otras, exigencias de certificación de comportamiento energético y mecanismos de inspección de sistemas de climatización. En Estados Unidos, a través de la Acción para la Seguridad e Independencia Energética (EISA) [3], se establece que en 2030 todos los edificios nuevos de carácter comercial deberán ser edificios de balance energético cero (*NET-Zero Energy Building*, ZEB). En el caso de edificios comerciales ya construidos, esta consideración debe alcanzarse en el 50% de los mismos para 2040 y en el 100% para 2050.

Estos NZEB se entienden como edificios con necesidades energéticas reducidas, siendo cubiertas con fuentes de energías renovables integradas en el mismo, como paneles fotovoltaicos, turbinas

minieólicas, colectores térmicos solares y biocombustibles. Esta nueva tendencia queda avalada por el creciente número de proyectos de demostración y en el interés científico existente [4], que demuestran su viabilidad. En España se han adoptado ya algunas estrategias para la consecución del objetivo europeo establecido [5].

Ante las disparidades detectadas en torno a esta tipología de edificios, se observa la necesidad de establecer una terminología inequívoca [6] para la definición de los mismos en base a determinados criterios, así como una estandarización en la metodología de cálculo para hallar el balance energético nulo.

1. DEFINICIONES ACERCA DE LOS NZEB

En los inmuebles NZEB se requiere una combinación óptima entre las tecnologías renovables disponibles junto con el empleo de técnicas de construcción energéticamente eficientes. La literatura distingue entre edificios aislados de la red y los conectados a las infraestructuras energéticas (integrados en red), NET ZEB. Estos últimos tienen la posibilidad de comprar y vender energía, evitando la necesidad de almacenamiento. Normalmente un edificio NZEB requiere de fuentes de energía convencionales como electricidad y gas natural cuando la generación in-situ no consigue satisfacer el 100% de la demanda. Cuando la generación in-situ es mayor

Balance	Ventajas	Inconvenientes	Otros aspectos
En el emplazamiento	Fácil de implementar y entender. Verificable con contadores in-situ. Enfoque tradicional. Inmune a agente externos. Fomenta el diseño eficiente del edificio.	Sobredimensiona las instalaciones. No considera el coste de la energía en las redes de distribución. No equipara los combustibles. No contempla el suministro ni la contaminación.	
En la fuente energética	Equipara los tipos de energía empleados. Mayor impacto en el sistema energético nacional. Consigue el carácter de NZEB de manera más sencilla.	No contempla el suministro ni la contaminación. El cálculo de la fuente es demasiado generalista. Las fuentes de energía empleadas pueden tener mayor impacto que una tecnología eficiente. No considera los costes energéticos.	Se necesitarían factores de conversión para enclavar el edificio a la fuente.
De coste energético	Fácil de implementar y medir. El mercado energético optimizará los distintos tipos de combustible. Comprobable desde las facturas energéticas.	Requiere el acuerdo en los contadores de energía en ambas direcciones.	Los contadores en las redes no están todavía bien establecidos.
De emisiones	Fomentar las energías limpias. Considera las diferencias entre los combustibles en cuanto a polución, emisiones de gases, etc. Fácil de conseguir el concepto NZEB.		Factores de emisión apropiados.

Tabla 1: Ventajas e inconvenientes de las diferentes definiciones establecidas para NZEB en [7]

a dicha demanda, el exceso es exportado a la red de distribución. Por tanto, el hecho de conseguir un edificio NZEB sin contemplar la red es bastante difícil, ya que las técnicas actuales de almacenamiento son limitadas.

En [7] se establece que la forma de entender un edificio NZEB es distinta según sean los intereses del proyecto. Se proponen distintas métricas a emplear (Tabla I), balance en el emplazamiento (*net-zero site energy*), balance en la fuente energética (*net-zero source energy*), balance de coste energético (*net-zero energy costs*) y balance de emisiones (*net-zero energy emissions*).

También se contempla que un NZEB puede ser un edificio convencional, equipado como colectores solares y sistemas fotovoltaicos. Si el sistema produce más energía de la que consume en un año, el objetivo de balance cero se ha conseguido.

2. CLASIFICACIONES DE LOS NZEB

En [7] también se establece una clasificación sobre las posibilidades de generación de energía en los edificios NZEB. Está basada en la minimización del impacto medioambiental a través del diseño eficiente, pérdidas en transporte y conversión de la energía, disponibilidad de la fuente y en la repetitividad. Una buena definición de NZEB exige el uso eficiente de la energía (opción 0). La instalación de paneles solares y colectores térmicos suministran energía directa (opción 1). Energías renovables (fotovoltaica (PV) o eólica) pueden estar disponibles en algunos casos (opción

2). Energías renovables provenientes de lugares alejados consiguen, así mismo el consumo nulo de la red (opción 4).

Posteriormente, los mismos autores [8] basándose en las opciones de suministro, proponen la siguiente clasificación (Tabla II).

3. DETERMINACIÓN DE LOS BALANCES

La metodología para la determinación de los balances energéticos en los NZEB no se encuentra claramente establecida, observándose la necesidad de definir una que sea clara e inequívoca. Estándares voluntarios, como LEED [9] o BREEAM [10] han realizado diferentes propuestas, pero en [11] se manifiesta la distancia que existe todavía entre las metodologías propuestas para realizar el balance y las normativas.

Una notable aportación es la realizada por el grupo de investigadores pertenecientes a *IEA SHC Task 40/ECBCS*, estableciendo algunas propuestas en el anexo 52, denominado "*Towards Net Zero Energy Solar Building*". En él, se proponen diferentes metodologías de cálculo atendiendo a criterios que se explican a continuación.

Se parte de la unidad de medida para cuantificar el balance energético del edificio. Se suelen utilizar la energía generada, la consumida o una ponderación de ambas, la energía primaria, las emisiones de CO₂ o el coste de la energía. En algunas propuestas se establece que la métrica empleada debe ser la exergía, al tener en cuenta este concepto la calidad de

la energía, su impacto y la transferencia a sus alrededores. Otra opción sería que las unidades para realizar el balance deben ser el tipo de energía y las emisiones del NZEB. En [2] en cambio, claramente se establece el uso de la energía primaria como unidad de medida. También es necesario establecer el horizonte temporal para realizar el balance del NZEB. Se han planteado diferentes periodos como su ciclo de vida útil total o realizar el balance de manera anual, e incluso mensual. El balance anual suele ser el preferido por la mayoría de autores y grupos de trabajo. En cambio, el empleo del ciclo de vida completo del edificio permitiría contemplar no solo la generación y consumo energéticos durante la operación, sino que esté también involucrada durante la construcción y demolición, cuantificándose así de manera indiscutible el impacto que el edificio tiene en el medioambiente.

En cuanto al tipo del uso de la energía a incluir en el balance del edificio, existe gran disparidad de criterio. En los primeros trabajos acerca de los NZEB se hablaba solamente de la energía térmica (calefacción de las zonas interiores, agua caliente sanitaria y refrigeración), donde los NZEB eran realmente entendidos como edificios de balance térmico cero (*zero thermal building*). En otros trabajos se focaliza la atención en el consumo eléctrico final. En cambio, la norma UNE-EN 15603:2008 establece que la energía en los cálculos debe ser aquella que no dependa del comportamiento de sus ocupantes o de las condiciones climáticas reales, mientras que en la mayoría de las metodologías, se

Clase NZEB	Opción de suministro energético	Opciones de suministro energético	Alcance de la definición de NZEB
	0	Consumo mínimo de energía.	No aplicable.
Opciones de suministro de origen renovable in-situ			
A	1	Uso de energías renovables instaladas dentro de los límites del edificio.	Alcanza la definición de balance en el emplazamiento, fuente de energía y de emisiones. No define los costes. Riesgos: factores de conversión con la red e incertidumbre con las normativas.
B	2	Energías renovables instaladas fuera del edificio en lugares muy cercanos.	Alcanza el balance en el emplazamiento, fuente de energía y de emisiones. No define los costes. Riesgos para alcanzar la posición A, factores de conversión con la red e incertidumbre con las normativas.
Opciones de suministro de origen renovable alejadas			
C	3	Energías renovables disponibles lejos del edificio pero empleadas en él en procesos in-situ.	Alcanza el balance en el emplazamiento, difícil conseguir las definiciones de fuente de energía, emisiones y coste. Riesgos: factores de conversión con la red e incertidumbre en el coste.
D	4	Compra de energía de origen renovable generada lejos.	Obtiene el balance en la fuente y en emisiones, pero no en coste y sitio. Riesgos: Dependencia de fuente o emisiones y cantidad de la energía adquirida.

Tabla II: Clasificación de los NZEB según [8]

apuesta por el uso total de la energía en el edificio, incluyendo sus ocupantes.

En el tipo de balance a realizar, se manifiesta nuevamente la relevancia de los edificios conectados a las redes de distribución, en los cuales se distinguen dos balances: 1) la generación de energía de origen renovable y la energía consumida [7], 2) la energía suministrada al edificio y la energía enviada por el edificio a la red [12]. El balance según esos dos criterios debe ser similar, con la diferencia de la energía suministrada para calefacción y electricidad con origen en los combustibles fósiles, que 1) no contempla. Si se tratase de un edificio aislado, la situación es clara, pues la generación de energía (renovable) debe suplir a la demanda en todo momento. El tipo de balance 1) es el favorito por la mayoría de las metodologías propuestas.

En cuanto a las diferentes metodologías y en lo que respecta a las opciones de suministro de energía por parte del NZEB, la mayoría prefiere que la generación se realice dentro de los límites del edificio, si bien algunas contemplan la generación en zonas alejadas del mismo. También es necesario tener en cuenta que si el propietario de un edificio invierte en un parque de

generación de origen renovable alejado, se podría incluir en el balance energético esa energía si es comprada, tenida en cuenta como créditos de energía limpia o libre de emisiones de CO₂. En algunas metodologías, la energía procesada en el inmueble, como la biomasa o los biocombustibles, es vista como energía generada dentro de los límites de éste y, en otras, se entiende como alejada del mismo.

La serie de normas ISO 52000 (actualmente en proyecto) propone un enfoque holístico para evaluar la eficiencia energética de un edificio y determinar su rendimiento energético previsto. Esta manera global de abordar la evaluación se debe a la competencia tecnológica y sus posibles combinaciones, por lo que la eficiencia energética será evaluada como la energía total utilizada para la calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación, agua caliente sanitaria, y, en algunos casos, electrodomésticos. Además, este nuevo estándar propone una estructura muy modular y metódica para integrar el rendimiento energético del edificio cubriendo aspectos como: definición de términos, realización del reparto de espacios, cálculo de rendimientos global y por zonas, etc.

LEED [9] establece cuatro niveles de certificación de los edificios, evaluados con su propia metodología. Atendiendo a distintos requisitos que la construcción debe cumplir, el número de puntos obtenidos determina el grado alcanzado (certificado, plata, oro y platino).

BREEAM [10] desarrolla distintos sistemas y criterios de evaluación y certificación para determinar la sostenibilidad del inmueble, dependiendo de las tipologías edificatorias y el uso, así como de la fase en que se encuentre el proyecto.

La Tabla III resume las características principales de las metodologías de cálculo.

3. EJEMPLO DE SIMULACIÓN

Nos parece especialmente interesante la definición de los NZEB realizada por el Centro de Investigación sobre Edificios de Cero Emisiones Noruego (*Norwegian Research Centre on Zero Emission Buildings*) al clasificar los diferentes tipos de NZEB en función de categorías como el nivel de ambición, las reglas de cálculo, la calidad de la energía o los requisitos de clima interiores. Dentro de la categoría del nivel de ambición se define el ZEB-O-EQ (Zero

Método	Unidad de medida para el balance				Período para el balance		Uso de la energía en el NZEB			Tipo de Balance		Opciones de suministro de origen renovable		
	Energía generada	Energía primaria	Emisiones de CO ₂	Coste de la energía	Anual	Mensual	Solo durante la operación del edificio	Energía total	Uso de la energía teniendo en cuenta la empleada en la construcción	Energía generada y usada	Aislado de las redes de suministro	Dentro de los límites del edificio	Generación in-situ	Generación lejos del edificio
1		X			X			X		X		X	X	
2		X			X			X		X		X	X	
3		X			X			X		X		X	X	X
4	X	X	X	X	X			X		X		X	X	
5	X	X	X	X	X			X			X	X	X	X
6	X					X	X			X		X	X	
7	X	X	X		X			X		X		X	X	X
8		X			X			X		X		X	X	
9	X				X			X		X		X	X	X
10		X			X		X			X		NO DEFINIDO		
11		X			X				X	X		X	X	X
12		X			X				X	X		NO DEFINIDO		
Torcell. [7]	X	X	X	X	X			X		X		X	X	X
ISO52000	X	X	X	X	X	X		X		X		X	X	X

Tabla III: Características de las distintas metodologías de cálculo para el balance de un NZEB

Energy Building-Operation-Equipments), una definición en la que se trata de alcanzar cero emisiones en la operación del edificio sin considerar su construcción y demolición. Únicamente se tiene en cuenta servicios como la climatización, iluminación o el agua caliente sanitaria, excluyendo el consumo de energía de equipos como electrodomésticos y otros consumos eléctricos [13].

Esta definición es similar a lo indicado en el Documento de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación (CTE DB HE), donde aumentarán las exigencias, tanto de reducción de la demanda de energía, como de generación de energía renovable en el propio edificio.

Entendemos que un paso previo a la definición de un ZEB completo debe ser la implantación de un edificio de consumo extremadamente reducido en la iluminación, agua caliente sanitaria y climatización. Parte de este consumo se aportará, mediante energía de origen renovable generada en el propio inmueble, es decir, un nZEB-O-EQ.

A continuación se muestran los resultados de la simulación de unas viviendas unifamiliares (Fig.1) adosadas donde se han aplicado diferentes técnicas para la reducción del consumo energético. Ha sido simulado mediante el software CypcadMEP de CYPE Ingenieros, con simulaciones anuales de un modelo zonal con acoplamiento térmico según el método simplificado en base horaria de tipo dinámico indicado en la norma UNE-EN ISO 13790:2011.

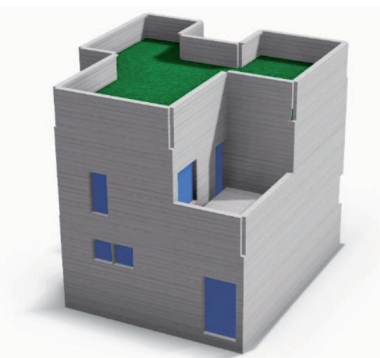


Fig. 1: Renderización del edificio simulado

Se ha realizado una comparativa entre un edificio sin apenas elementos aislantes, reproduciendo las técnicas constructivas de Europa meridional en los años 70, con otro que utiliza las más modernas tecnologías de reducción de demanda. La drástica reducción de ésta facilita el diseño de instalaciones de energías renovables que permiten cubrir los limitados consumos residuales de energía.

Hemos empleado soluciones constructivas de alta eficiencia en muros, elementos translucidos, forjados y cubierta, minimizando los puentes térmicos en la envolvente y se ha equipado a la vivienda con un sistema de recuperación de calor en la instalación de ventilación:

Elemento	Mejora
Muros (Parte ciega)	Fachada de una hoja con aislamiento por el exterior, sistema 'ETICS', mediante panel rígido de lana de roca. Permite eliminar gran parte de los puentes térmicos y presenta una transmitancia reducida $U_m: 0.18 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.
Forjado sanitario	Forjado unidireccional 25+5 cm (Bovedilla de hormigón) + Suelo flotante con lana de roca de 50 mm de espesor. Entarimado tradicional de madera maciza de pino gallego. La transmitancia térmica del elemento es $U_s: 0.27 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.
Cubierta	Cubierta plana no transitada y no ventilada. Vegetal ajardinada ecológica (al ser extensiva) con impermeabilización mediante láminas asfálticas + Forjado unidireccional 25+5 cm (Bovedilla de hormigón). Con una transmitancia térmica de U_c calefacción y refrigeración: $0.21 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.
Elementos translucidos	Perfil de madera laminada de 110 mm, vidrio triple de dos cámaras con gas kriptón de baja emisión 4/12/4/12/4. Con una transmitancia calculada para toda la ventana de $U_w: 0.66 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ y un factor solar F: 0.50 corregido a FH: 0.41.
Ventilación	Recuperador de calor incorporado a la ventilación forzada de la vivienda. Se utiliza un intercambiador a contraflujo con certificado Eurovent, alcanzando en el intercambiador un rendimiento de hasta el 95%.

Tabla IV: Descripción de las mejoras realizadas en el modelo

De este modo pueden observarse los resultados entre las dos simulaciones:

las reglas de cálculo, la calidad de la energía o los requisitos de clima interiores es

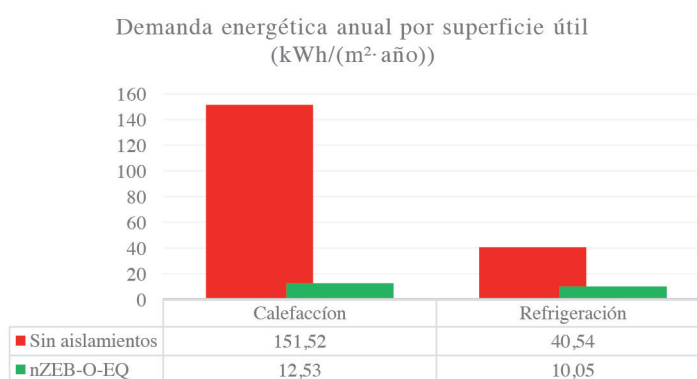


Fig. 2: Resultados de la comparativa

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha realizado una revisión de las definiciones, clasificaciones y metodologías de cálculo propuestas durante los últimos años relativos a los edificios conocidos como NZEB. A pesar de que existe una clara tendencia a nivel internacional por parte de diferentes regulaciones, proyectos de investigación y actuaciones de entidades privadas para motivar a ingenieros, arquitectos y a los usuarios a concebir un uso más eficiente y sostenible de los edificios, se observa que no hay todavía un criterio común en la definición de los mismos, en las conside-

considerada la más completa. Esta definición se asemeja a lo indicado en el Documento de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación. Esta labor de consenso en cuanto a la definición y metodología de cálculo de un NZEB se considera fundamental para poder integrar en la normativa nacional e internacional tales conceptos y crear un marco teórico para el desarrollo exitoso de este tipo de edificios en el futuro. En este contexto la serie de normas ISO 52000 pretende unificar todas las consideraciones propuestas. El caso de simulación mostrado valida la viabilidad de los NZEB desde el punto de

vista medioambiental en comparación con construcciones edificadas de manera convencional.

PARA SABER MÁS

[1] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Balance de energía final (1990-2013). Disponible en Web: < <http://www.idae.es/>>. [Consulta: 01 de Diciembre de 2015].

[2] Europa. Directiva 2010/31/UE del parlamento europeo y del consejo relativa a la eficiencia energética de los edificios. Diario Oficial de la Unión Europea, 19 de Mayo de 2010, L153/13-L153/35.

[3] Estados Unidos. Energy Independence and Security Act (EISA). Public law 110-140. 19 de Diciembre de 2007, P. 1-311.

[4] Lopez-Rodriguez, F., Cuadros-Blazquez, F., Segador-Vegas, C., Ruiz-Celma, A., Mena-Nieto, A., Soutullo-Castro, S., Giancola, E., Ferrer-Tevar, J., Heras-Ceramin, M., Garcia-Sanz-calcedo, J.. (2011). PETER BUILDING: AN EXAMPLE OF BIOCLIMATIC BUILDING AND INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGIES INTO THE EDIFICATION. DYNA, 86(2). 212-221. DOI: <https://doi.org/10.6036/3911>

[5] Martínez De Alegría-Mancisidor, I., Alvarez-Meaza, I., Zarrabeitia-Bilbao, E., Bueno-

Mendieta, G., Vicente-Molina, M.. (2016). THE NEARLY ZERO-ENERGY BUILDING (nZEB) STRATEGY IN THE EUROPEAN UNION (EU): THE SPANISH PERSPECTIVE. DYNA, 91(5). 522-528. DOI: <https://doi.org/10.6036/7851>

[6] International Energy Agency. SHC Task 40 Net Zero Energy Solar Building. Disponible en Web: < <http://task40.iea-shc.org/>>. [Consulta: 27 de Noviembre de 2015].

[7] Torcellini P, Pless S, Deru M. "Zero Energy Building: A Critical Look at the Definition". En: ACEEE Summer Study, Pacific Grove, California, USA. 2006.

[8] Torcellini P, Pless S, "Net-Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options". Technical report of National Renewable Energy Laboratory NREL/TP-550-44586. Junio 2010.

[9] Unites States Green Building Council (USGBC), Leadership in Energy and Environmental Design (LEED). Rating System Selection Guidance. Disponible en web < <http://www.usgbc.org/resources/grid/leed?title=current+version> >. [Consulta: 2 de Diciembre de 2015].

[10] BRE Environmental Assessment Method (BREEAM). Disponible en web < <http://www.breeam.es/> >. [Consulta: 10 de Diciembre de 2015].

[11] Marszal AJ, Bourrelle J.S, Musall E, "Net Zero

Energy Buildings – Calculation Methodologies versus National Building Codes". En actas de congreso Eurosun Conference. Graz, Austria. 2010. <https://doi.org/10.18086/eurosun.2010.06.14>

[12] Laustsen J, "Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings". International Energy Agency (OECD/IEA). 2008.

[13] Dokka, T. H., I. Sartori, M. Thyholt, K. Lien and K. B. Lindberg (2013a). "A Norwegian Zero Emission Building Definition". Passihus Norden. 2013, Göteborg, Sweden.

MATERIAL SUPLEMENTARIO

http://www.revistadyna.com/documentos/pdfs/_adic/8285-1.pdf



DYNA

Ingeniería e Industria

Suscríbete a Revista Dyna

Revista técnico científica de ingeniería multidisciplinar desde 1926

Los mejores artículos en español para investigadores y profesionales de la ingeniería. Mantente actualizado y conoce el estado del arte en ingeniería.

PROMOCIÓN PARA ESTUDIANTES:

La suscripción a DYNA impresa incluye la suscripción digital a DYNA y a otras 3 revistas especializadas:

- DYNA Energía y Sostenibilidad (DYNAES)
- DYNA Management (DYNAMN)
- DYNA Nuevas Tecnologías (DYNANT)

Suscripción Impresa + 4 revistas digitales 38,00 €/año

Para acogerse a esta promoción escribanos a dyna@revistadyna.com



<http://www.revistadyna.com/suscripcion-estudiante-espana-impresa>