

05-025

Application of an analytic, synergic and adaptive design methodology to NZEB design: active measures

Diego Carmona Fernández; Luis Alberto Horrillo Horrillo; Francisco De Asís Hipólito Ojalvo; Awf Al-Kassir Abdulla

Universidad de Extremadura;

The compulsory design of new buildings of nearly zero consumption, emanating from European directives, is increasingly close and requires the development of design methodologies adapted to the mainland climate.

We firmly believe that a successful design of a nZEB can only be undertaken from a detailed analysis of the building and a holistic approach to the design of the building. Therefore, a methodology that has been developed is based on a passive model that limits the demand for thermal energy (obtained in previous steps of the methodology), studying the behavior of ACS installations individually, lighting (depending on the case) and air conditioning, with the aim of reducing the energy expenditure of non-renewable energy in operation of the building to a value close to zero and even null.

An application of a methodology for a single family home is developed where the installed systems are evaluated by means of multiple annual simulations within the time intervals of a zonal model of the building using Cypecad MEP. The model take in to account the generation of solar thermal energy an photovoltaic, the use of geothermal, airthermal and biomass to design VRV installations of hyper-inverter, as well as other conventional solutions.

Keywords: Renewable energies; energetic consumption; modeling

Aplicación de una metodología de diseño analítica, sinérgica y adaptativa para el diseño de NZEB (EECN): medidas activas

La obligatoriedad de diseñar los edificios de nueva planta como edificios de consumo casi nulo, emanada de directivas europeas, es cada vez más cercana y exige el desarrollo de metodologías de diseño adaptadas al clima peninsular.

Creemos firmemente que un proyecto exitoso de diseño de un nZEB solo puede acometerse desde un análisis detallado del edificio y una aproximación holística al diseño del mismo. Para ello se ha desarrollado una metodología que, partiendo de un modelo pasivo que limite la demanda de energía térmica (obtenido en pasos previos de la metodología), estudie individualmente los comportamientos de las instalaciones de ACS, iluminación (en función del caso) y climatización, con el objetivo de reducir el gasto energético de energía no renovable en operación del edificio a un valor próximo a cero e incluso nulo.

Se muestra una aplicación de la metodología (ejemplo de vivienda unifamiliar), en la que mediante múltiples simulaciones anuales en intervalos horarios de un modelo zonal del edificio (Cypecad MEP) se evalúan un abanico de sistemas, que abarcan desde la generación de energía solar térmica y fotovoltaica, la utilización de geotérmica, aerotermia y biomasa hasta el diseño de instalaciones de VRV, hyper-inverter, así como otras soluciones convencionales.

Palabras clave: NZEB; ENERGÍA RENOVABLE; CONSUMO ENERGÉTICO

Correspondencia: Diego Carmona Fernández dcarmona@unex.es



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

1. Introducción

El concepto de edificio de consumo casi nulo (nZEB por sus siglas en inglés), de reciente aparición en las normativas europeas (Parlamento Europeo y Consejo de las comunidades Europeas, 2010, 2012) (European Commission, 2017) y españolas (ya se ha publicado un borrador del RD 235 (España, 2016) así como un documento de bases de la próxima actualización del Código Técnico de la Edificación en su documento de ahorro de energía para 2018 (Ministerio de Fomento, 2016)) comenzará a implantarse en los diferentes países de la Unión Europea a finales del próximo año.

Para conseguir obtener un nZEB es necesario, en primer lugar, aplicar una serie de medidas pasivas en orden de reducir la demanda energética del edificio para, después, acometer la cobertura de esta demanda mediante la utilización de instalaciones de muy alta eficiencia energética, en parte mediante el aporte de energías renovables generadas in situ. La combinación de esta triada, medidas pasivas para reducir el consumo, instalaciones de alta eficiencia y aportes de energía renovable, posibilitan que el consumo de energía primaria de origen no renovable resultante del edificio sea cero o un valor lo más cercano posible (Marszal & Heiselberg, 2009).

En la actualidad existen diferentes posibilidades para la utilización tanto de energías renovables en la edificación (paneles solares térmicos y fotovoltaicos, mini turbinas eólicas o calderas de biomasa) como instalaciones de alta eficiencia energética (Sistemas de volumen de refrigerante variable o hyperinverter o bombas de calor geotérmicas y aerotérmicas) (Carmona Fernández, Al Kassir Abdulla, Jaramillo Morán, & Horrillo Horrillo, 2013) (III Congreso Edificios de energía casi & Nula, 2016). Muchas de las tecnologías mencionadas han sido utilizadas en las simulaciones que se describen correspondientes a las fases referidas a soluciones activas dentro de una metodología completa de diseño de edificios de consumo casi nulo.

2. Objetivo

El objetivo de la investigación es la creación de una metodología de diseño de edificios de consumo casi nulo independiente de las condiciones climáticas y de la tipología del edificio objeto. Para ello se plantea una metodología de diseño adaptativa, sinérgica y adaptativa dividida en diferentes fases, de las cuales en la presente comunicación se detallan las correspondientes a las medidas activas.

Esta comunicación se complementa con otra presentada a este congreso llamada: *“APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE DISEÑO ANALÍTICA, SINÉRGICA Y ADAPTATIVA PARA EL DISEÑO DE NZEB (EECN): MEDIDAS PASIVAS.”* donde se detallan las fases previas de la metodología mediante las cuales se diseña un edificio pasivo (fases ALFA y BETA de la metodología).

3. Metodología y/o Caso de estudio

En la presente comunicación se detallan los aspectos relativos a la simulación de medidas activas sobre el modelo de una vivienda unifamiliar en una vivienda unifamiliar adosada en hilera, basada en un modelo de comprobación de la Agencia Internacional de la Energía. La metodología completa concibe el diseño de un nZEB a lo largo de cuatro fases. A lo largo de las fases ALFA y BETA de la metodología se obtiene un diseño de edificio pasivo, en otras palabras, un edificio con una demanda de energía muy reducida para su climatización (Mihai, Tanasiev, Dinca, Badea, & Vidu, 2017). En la denominada fase GAMMA, la primera referida a soluciones activas, partiendo del modelo de edificio pasivo se simula su

comportamiento energético con diferentes instalaciones de climatización y agua caliente sanitaria, ACS, determinándose el consumo anual de energía primaria no renovable del edificio. En la fase DELTA se plantean tres escenarios en los que se combinan las soluciones de menor consumo energético con instalaciones generadoras de energía eléctrica y térmica de origen renovable.

La instalaciones utilizadas en las simulaciones han sido previamente calculadas, verificando el cumplimiento de la normativa española vigente y dimensionadas mediante la utilización del motor de cálculo de EnergyPlus (U.S. Department of Energy, 2017), posteriormente se estima el consumo de energía primaria no renovable mediante la aplicación del cálculo indicado para el cumplimiento del HE 0 limitación del consumo energético del CTE HE 2013.

4. Resultados

4.1. Evaluación de tecnologías de climatización y generación de ACS. Fase GAMMA.

La fase se inicia con la simulación de los modelos iniciales que sirven de referencia para cuantificar los ahorros energéticos obtenidos con el proceso. Se realizan cuatro simulaciones:

- La primera simulación consiste en utilizar un modelo del edificio, sobre el que no se ha aplicado ninguna solución de eficiencia energética, en el que se evalúa el desempeño de instalaciones de baja eficiencia energética (calefacción y generación de ACS mediante caldera eléctrica y refrigeración con equipo de expansión directa estándar según las condiciones de simulación de la normativa española de certificación energética de edificios (España, 2013b)).
- La segunda simulación consiste en el mismo modelo de la simulación anterior sobre el que se evalúan las instalaciones por defecto que indica la normativa española, es decir para la calefacción y la generación de ACS se ha simulado una caldera de gas natural con un rendimiento medio estacional de 0,9 y para la refrigeración se utiliza un sistema de expansión directa con alimentación eléctrica y un rendimiento medio estacional de 2.
- La tercera simulación emplea un modelo obtenido para cumplir las condiciones de limitación de la demanda de energía HE 1 del Código Técnico de Edificación (España, 2013) sobre el que se aplican las instalaciones por defecto indicadas en el apartado anterior.
- La cuarta simulación utiliza un modelo de edificio pasivo sobre el cual se evalúan las instalaciones estándar indicadas.

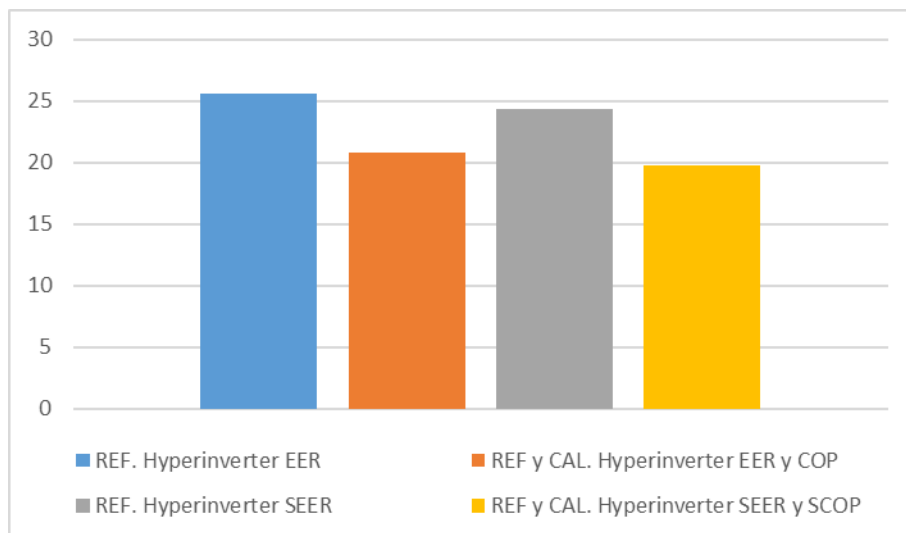
En la siguiente figura se muestran los resultados de las simulaciones representándose, al igual que en el resto de las figuras, el consumo de energía primaria no renovable por año y metro cuadrado en kWh / (m²·año). La cuarta simulación se utiliza como base, variándose los parámetros necesarios para simular la instalación correspondiente.

Figura 1. Cep,nr en las simulaciones iniciales de la fase GAMMA, en kWh / (m²·año)



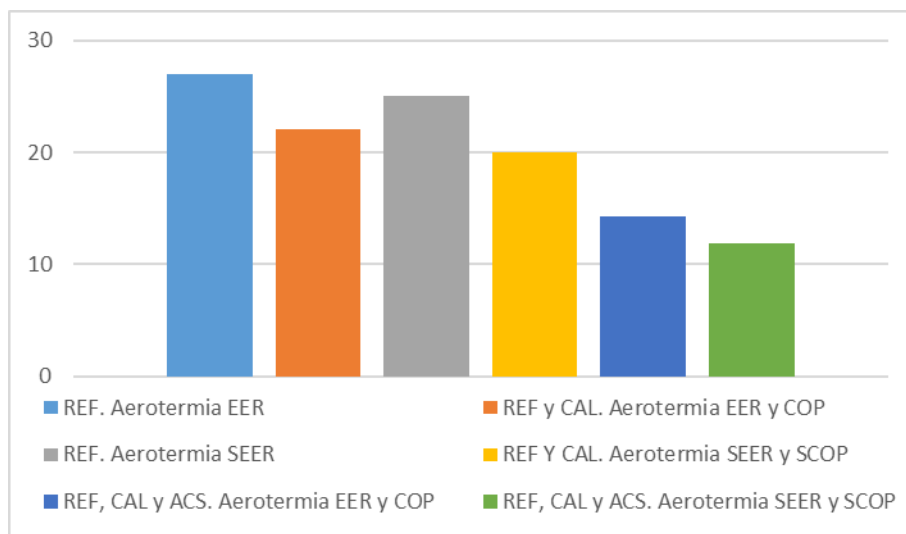
Un primer conjunto de simulaciones se emplea para evaluar el consumo en el modelo pasivo para la climatización mediante sistemas hyperinverter, bombas de calor aire-aire de alta eficiencia, especialmente en sistemas de pequeña potencia, pudiendo alcanzar rendimientos SEER y SCOP superiores a 6. Se plantean simulaciones utilizando solo el equipo para refrigeración y para refrigeración y calefacción y con los valores de EER y COP por un lado y de SEER y SCOP por otro. Los resultados se recogen en la figura 2.

Figura 2. Cep,nr en las simulaciones de Hyper-inverter, en kWh / (m²-año)



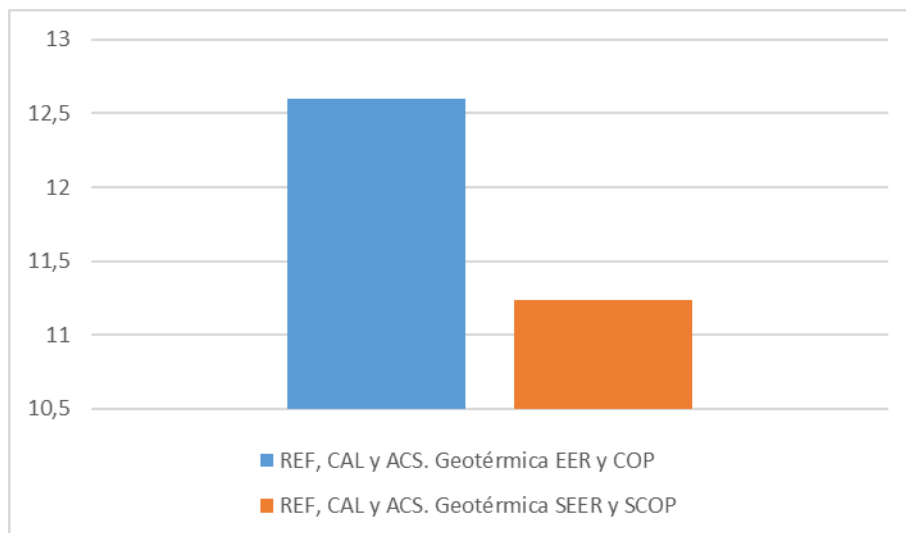
Las bombas de calor aire-agua o, como actualmente se las empieza a conocer, sistemas aerotérmicos se basan como cualquier otra bomba de calor en el transporte de flujos de calor entre el interior y el exterior del edificio mediante la utilización de un ciclo termodinámico en el que un refrigerante realiza cambios de estado y de presión. El intercambio térmico con el exterior se realiza a través de aire y con el interior del edificio mediante una red de distribución de agua. Este tipo de instalaciones puede utilizarse además para la generación del agua caliente sanitaria en una vivienda unifamiliar. Se realizan simulaciones para solo refrigeración, refrigeración y calefacción y refrigeración calefacción y ACS, en todos los casos con los valores de EER y COP por un lado y de SEER y SCOP por otro, los resultados pueden verse en la figura 3.

Figura 3. Cep,nr en las simulaciones de aerotermia, en kWh / (m²-año)



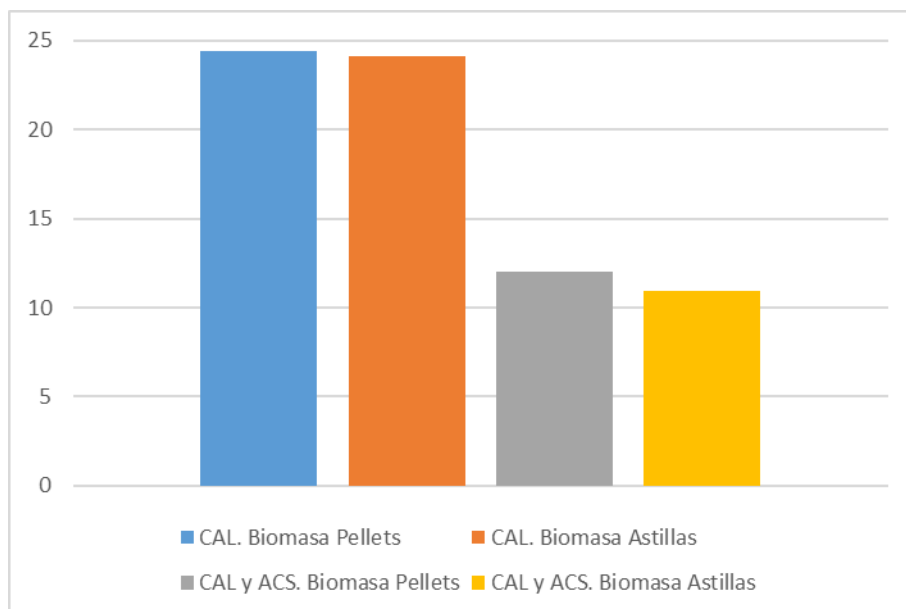
Las bombas de calor geotérmicas son los equipos con mejores índices de eficiencia empleados (pueden alcanzar valores de SEER cercanos a 7), funcionan como las bombas de calor convencionales, aunque realizando el intercambio térmico con el exterior mediante una red de tuberías de agua con anticongelante enterradas. Las simulaciones se realizan para la calefacción, refrigeración y generación de ACS, de EER y COP por un lado y de SEER y SCOP por otro, pueden observarse en la figura 4

Figura 4. Cep,nr en las simulaciones de geotermia, en kWh / (m²-año)



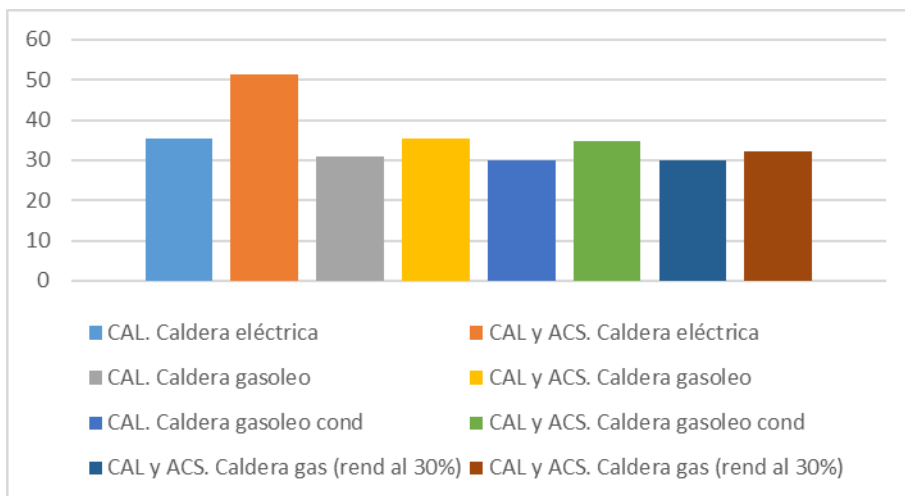
Para las simulaciones con calderas de biomasa se descartan las tradicionales de leña y se emplean en las simulaciones las más modernas alimentadas mediante pellets o astillas. Se utilizan en simulaciones para calefacción y para calefacción y generación de ACS, los resultados pueden observarse en la figura 5:

Figura 5. Cep,nr en las simulaciones de biomasa, en kWh / (m²-año)



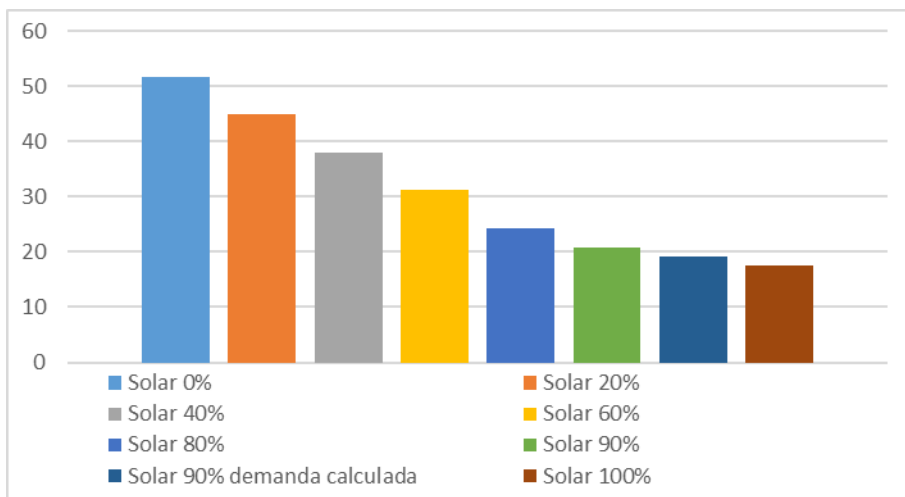
Tanto para la calefacción como para la generación de ACS se plantean una serie de simulaciones basadas en calderas de combustibles comunes utilizadas tradicionalmente nuestro país, calderas eléctricas, de gasóleo, de gas, etc.

Figura 6. Cep,nr en las simulaciones de otros combustibles, en kWh / (m²-año)



Para simular la utilización de la energía solar térmica se realizó un conjunto de simulaciones en el cual se varía el aporte de energía cubierto para la generación de agua caliente sanitaria en la vivienda mediante la instalación solar térmica.

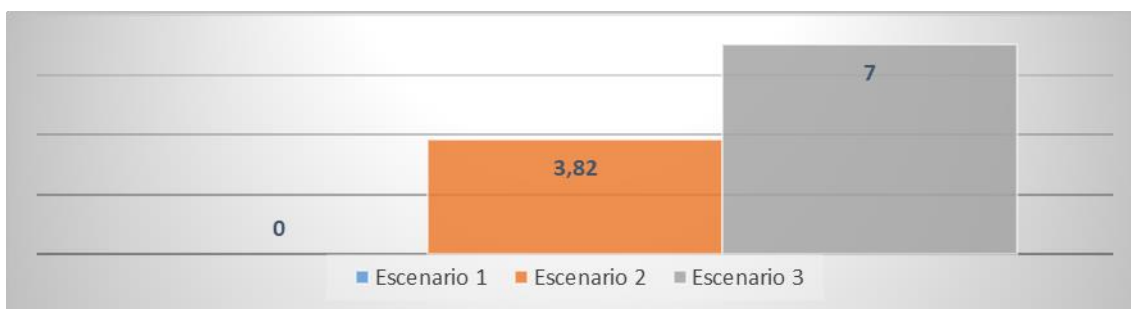
Figura 7. Cep,nr en las simulaciones de aporte de energía solar térmica, en kWh / (m²-año)



4.2. Escenarios de nZEB. Fase DELTA

En la fase DELTA de plantean tres escenarios en los cuales se realizó una combinación de las soluciones estudiadas en los apartados anteriores combinadas con el aporte de energías renovables según el caso. Los escenarios contemplados son los siguientes:

Figura 8. Cep,nr en las simulaciones de los escenarios de la fase DELTA, en kWh / (m²-año)



A continuación, se detallan los escenarios planteados:

El escenario 1 emplea para la climatización una bomba de calor aerotérmica y para la generación de ACS el 90% de las necesidades son cubiertas con una instalación solar térmica y el resto con la bomba de calor. Los consumos eléctricos resultantes de la bomba de calor son suficientemente pequeños para cubrirlos mediante una instalación de energía solar fotovoltaica situada en la cubierta de la vivienda, siendo el consumo final de energía primaria no renovable 0. Los resultados del escenario pueden consultarse en la tabla 1 y en la figura 9.

El escenario 2 emplea para la refrigeración un sistema hyperinverter y para la calefacción y la generación de ACS una caldera de biomasa alimentada por pellets. El consumo final de energía primaria no renovable es de 3,8 (kWh/(m²·a)). Los resultados del escenario pueden consultarse en la tabla 2 y en la figura 10.

El escenario 3 emplea para la climatización una bomba de calor geotérmica y para la generación de ACS el 90% de las necesidades son cubiertas con una instalación solar térmica y el resto con la bomba de calor. El consumo final de energía primaria no renovable es de 7 (kWh/(m²·a)). Los resultados del escenario pueden consultarse en la tabla 3 y en la figura 11.

Figura 9. Resultados del escenario 1

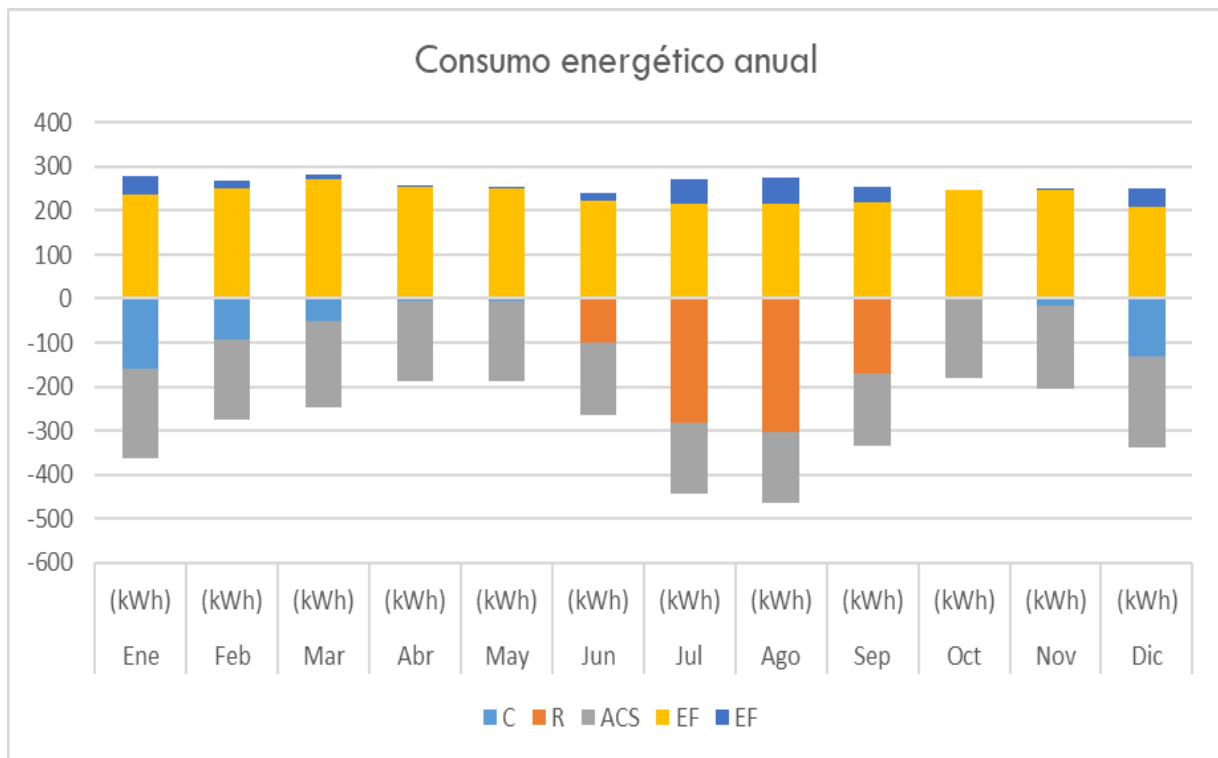


Figura 10. Resultados del escenario 2

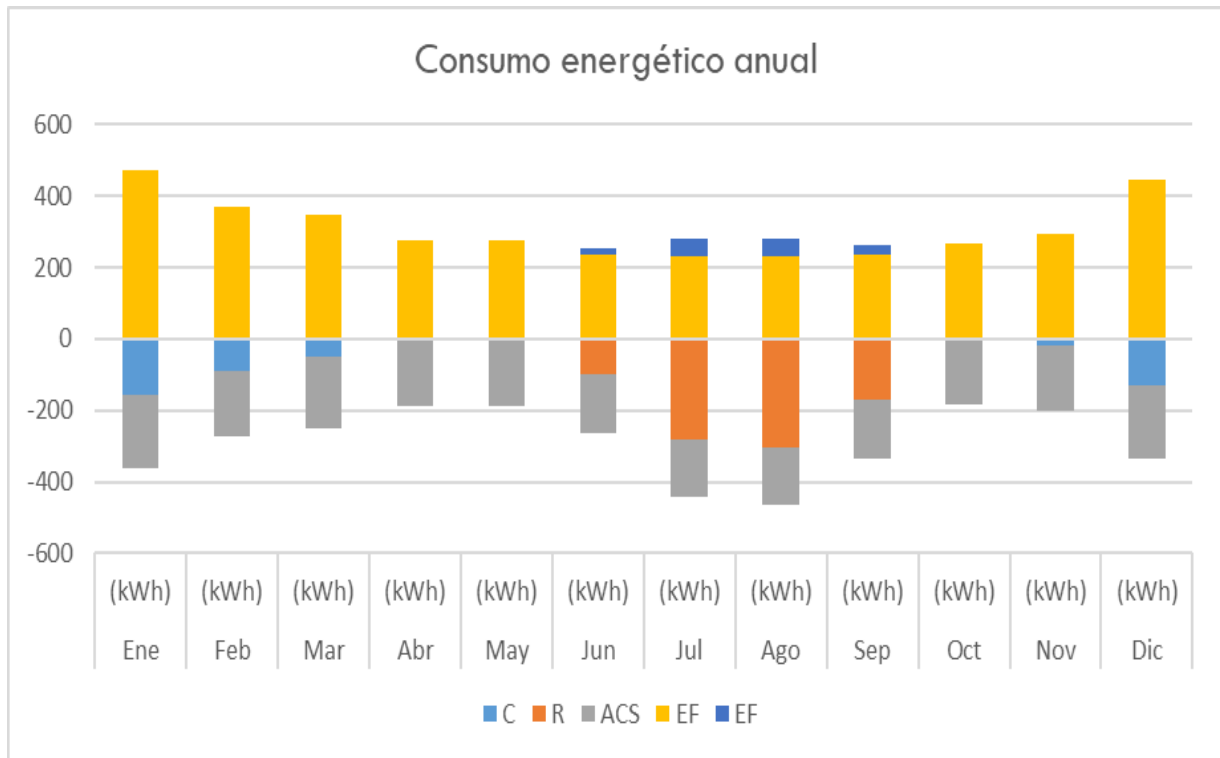


Figura 13. Resultados del escenario 3

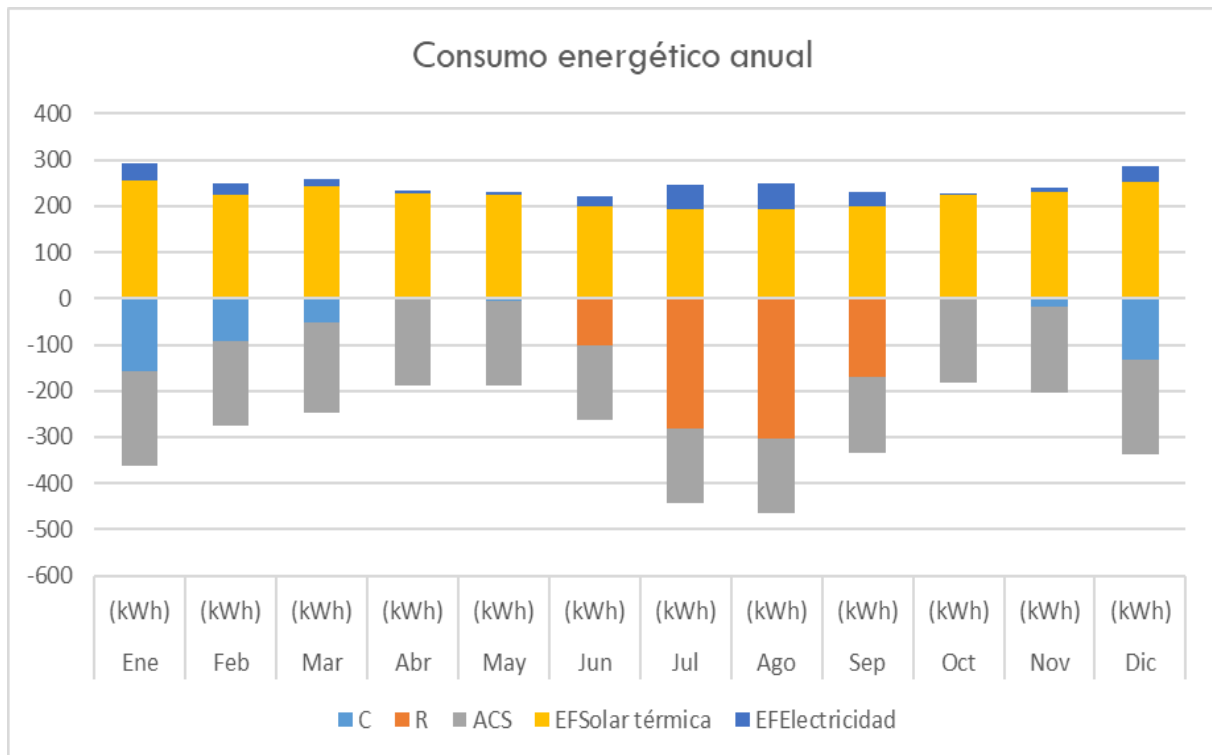


Tabla 1. Resultados del escenario 1

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	
		(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/año)	(kWh/(m ² ·a))
Demanda energética	C	-157,9	-91,8	-51	-3,7	-6,8	0	0	0	0	0	-16,2	-131,6	-459	-5,6
	R	0	0	0	0	0	-100,2	-283	-301,9	-169,4	0	0	0	-854,5	-10,4
	ACS	-205,6	-182,1	-197,5	-183,4	-181,4	-163,9	-161,3	-161,3	-163,9	-181,4	-187,3	-205,6	-2174,5	-26,5
	TOTAL	-363,5	-273,9	-248,5	-187	-188,2	-264,1	-444,2	-463,2	-333,2	-181,4	-203,5	-337,2	-3488	-42,5
Solar térmica	EA_{ACS}	172	182,1	197,5	183,4	181,4	163,9	161,3	161,3	163,9	181,4	179,2	153,4	2080,6	25,4
	EF	236,3	250,2	271,1	252,7	249	221,2	215,6	215,7	220,2	248,4	246,7	210	2837	34,6
	%D_{ACS}	83,7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95,7	74,6	96,1	
Solar fotovoltaica (f_{cep} = 1,954)	EA_C	157,9	91,8	51	3,7	6,8	0	0	0	0	0	16,2	131,6	459	5,6
	EA_{ACS}	33,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,1	52,2	93,9	1,1
	EA_R	0	0	0	0	0	100,2	283	301,9	169,4	0	0	0	854,5	10,4
	EF	40,8	18,4	10,2	0,7	1,4	20	56,6	60,4	33,9	0	5,5	40,6	288,5	3,5
	%D_C	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	100	100	58,1	
	%D_{ACS}	16,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,3	25,4	3,9	
	%D_R	0	0	0	0	0	100	100	100	100	0	0	0	33,4	
C_{ef,total}	277,1	268,5	281,3	253,4	250,4	241,2	272,2	276,1	254,1	248,4	252,2	250,6	3125,5	38,1	
C_{ep,ren}	277,1	268,5	281,3	253,4	250,4	241,2	272,2	276,1	254,1	248,4	252,2	250,6	3125,5	38,1	
C_{ep,nr}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

- S_u: Superficie habitable del edificio, m².
V: Volumen neto habitable del edificio, m³.
D_C: Demanda de energía útil correspondiente al servicio de calefacción, kWh.
D_R: Demanda de energía útil correspondiente al servicio de refrigeración, kWh.
D_{ACS}: Demanda de energía útil correspondiente al servicio de ACS, kWh.
f_{cep}: Factor de conversión de energía final a energía primaria procedente de fuentes no renovables.
EA: Energía útil aportada, kWh.
EF: Energía final consumida por el sistema en punto de consumo, kWh.
EP_{ren}: Consumo energético de energía primaria de origen renovable, kWh.
EP_{nr}: Consumo energético de energía primaria de origen no renovable, kWh.
%D: Porcentaje cubierto de la demanda energética total del servicio asociado por el vector energético de origen renovable.
C_{ef,total}: Consumo energético total de energía en punto de consumo, kWh/(m²·año).
C_{ep,ren}: Consumo energético total de energía primaria de origen renovable, kWh/(m²·año).
C_{ep,nr}: Consumo energético total de energía primaria de origen no renovable, kWh/(m²·año).

Tabla 2. Resultados del escenario 2

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	
		(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/año)	(kWh/(m ² ·a))
Demanda energética	C	-157,9	-91,8	-51	-3,7	-6,8	0	0	0	0	0	-16,2	-131,6	-459	-5,6
	R	0	0	0	0	0	-100,2	-283	-301,9	-169,4	0	0	0	-854,5	-10,4
	ACS	-205,6	-182,1	-197,5	-183,4	-181,4	-163,9	-161,3	-161,3	-163,9	-181,4	-187,3	-205,6	-2174,5	-26,5
	TOTAL	-363,5	-273,9	-248,5	-187	-188,2	-264,1	-444,2	-463,2	-333,2	-181,4	-203,5	-337,2	-3488	-42,5
Biomasa densificada (pellets) (fcep = 0,085)	EA_C	157,9	91,8	51	3,7	6,8	0	0	0	0	0	16,2	131,6	459	5,6
	EA_{ACS}	205,6	182,1	197,5	183,4	181,4	163,9	161,3	161,3	163,9	181,4	187,3	205,6	2174,5	26,5
	EF	473,5	367,7	346,3	275,7	275,1	237,9	231,8	231,9	236,8	267,1	294,7	444,2	3682,6	44,9
	%D_C	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	100	100	58,1	
	%D_{ACS}	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	EP_{nr}	40,2	31,3	29,4	23,4	23,4	20,2	19,7	19,7	20,1	22,7	25	37,8	313	3,8
Solar fotovoltaica (fcep = 1,954)	EA_R	0	0	0	0	0	100,2	283	301,9	169,4	0	0	0	854,5	10,4
	EF	0	0	0	0	0	16,7	47,2	50,3	28,2	0	0	0	142,4	1,7
	%D_R	0	0	0	0	0	100	100	100	100	0	0	0	33,4	
C_{ef,total}	473,5	367,7	346,3	275,7	275,1	254,6	279	282,3	265	267,1	294,7	444,2	3825	46,7	
C_{ep,ren}	486,7	378	356	283,4	282,8	261,2	285,5	288,7	271,6	274,6	302,9	456,7	3928,2	47,9	
C_{ep,nr}	40,2	31,3	29,4	23,4	23,4	20,2	19,7	19,7	20,1	22,7	25	37,8	313	3,8	

- S_U: Superficie habitable del edificio, m².
V: Volumen neto habitable del edificio, m³.
D_C: Demanda de energía útil correspondiente al servicio de calefacción, kWh.
D_R: Demanda de energía útil correspondiente al servicio de refrigeración, kWh.
D_{ACS}: Demanda de energía útil correspondiente al servicio de ACS, kWh.
f_{cep}: Factor de conversión de energía final a energía primaria procedente de fuentes no renovables.
EA: Energía útil aportada, kWh.
EF: Energía final consumida por el sistema en punto de consumo, kWh.
EP_{ren}: Consumo energético de energía primaria de origen renovable, kWh.
EP_{nr}: Consumo energético de energía primaria de origen no renovable, kWh.
%D: Porcentaje cubierto de la demanda energética total del servicio asociado por el vector energético de origen renovable.
C_{ef,total}: Consumo energético total de energía en punto de consumo, kWh/(m²·año).
C_{ep,ren}: Consumo energético total de energía primaria de origen renovable, kWh/(m²·año).
C_{ep,nr}: Consumo energético total de energía primaria de origen no renovable, kWh/(m²·año).

Tabla 3. Resultados del escenario 3

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	
		(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh/año)	(kWh/(m ² ·a))
Demanda energética	C	157,9	-91,8	-51	-3,7	-6,8	0	0	0	0	0	-16,2	131,6	-459	-5,6
	R	0	0	0	0	0	100,2	-283	301,9	169,4	0	0	0	-854,5	-10,4
	ACS	205,6	182,1	197,5	183,4	181,4	163,9	161,3	161,3	163,9	181,4	187,3	205,6	-2174,5	-26,5
	TOTAL	363,5	273,9	248,5	-187	188,2	264,1	444,2	463,2	333,2	181,4	203,5	337,2	-3488	-42,5
Solar térmica	EA_{ACS}	185	163,9	177,8	165	163,3	147,5	145,1	145,1	147,5	163,3	168,5	185	1957	23,9
	EF_{Solar térmica}	254,2	225,2	244	227,4	224,1	199,1	194	194,1	198,2	223,6	232,1	253,4	2669,2	32,6
	%D_{ACS}	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	
Electricidad (fcep = 1,954)	EA_C	157,9	91,8	51	3,7	6,8	0	0	0	0	0	16,2	131,6	459	5,6
	EA_{ACS}	20,6	18,2	19,8	18,3	18,1	16,4	16,1	16,1	16,4	18,1	18,7	20,6	217,4	2,7
	EA_R	0	0	0	0	0	100,2	283	301,9	169,4	0	0	0	854,5	10,4
	EF_{Electricidad}	37,2	23,4	15,6	5,8	6,3	21,1	51,5	54,6	32,6	5	8,4	31,9	293,5	3,6
	EP_{ren}	15,4	9,7	6,5	2,4	2,6	8,7	21,3	22,6	13,5	2,1	3,5	13,2	121,5	1,5
	EP_{nr}	72,8	45,7	30,5	11,3	12,4	41,3	100,6	106,8	63,8	9,7	16,4	62,4	573,6	7
C_{ef,total}		291,4	248,5	259,6	233,2	230,4	220,2	245,5	248,8	230,8	228,5	240,5	285,3	2962,8	36,1
C_{ep,ren}		269,6	234,8	250,4	229,8	226,7	207,8	215,3	216,7	211,7	225,6	235,5	266,6	2790,7	34
C_{ep,nr}		72,8	45,7	30,5	11,3	12,4	41,3	100,6	106,8	63,8	9,7	16,4	62,4	573,6	7

- V: Volumen neto habitable del edificio, m³.
- D_C: Demanda de energía útil correspondiente al servicio de calefacción, kWh.
- D_R: Demanda de energía útil correspondiente al servicio de refrigeración, kWh.
- D_{ACS}: Demanda de energía útil correspondiente al servicio de ACS, kWh.
- f_{cep}: Factor de conversión de energía final a energía primaria procedente de fuentes no renovables.
- EA: Energía útil aportada, kWh.
- EF: Energía final consumida por el sistema en punto de consumo, kWh.
- EP_{ren}: Consumo energético de energía primaria de origen renovable, kWh.
- EP_{nr}: Consumo energético de energía primaria de origen no renovable, kWh.
- %D: Porcentaje cubierto de la demanda energética total del servicio asociado por el vector energético de origen renovable.
- C_{ef,total}: Consumo energético total de energía en punto de consumo, kWh/(m²·año).
- C_{ep,ren}: Consumo energético total de energía primaria de origen renovable, kWh/(m²·año).
- C_{ep,nr}: Consumo energético total de energía primaria de origen no renovable, kWh/(m²·año).

5. Conclusiones.

Los resultados obtenidos muestran que es posible mediante la utilización de la tecnología actual, como bombas de calor de alto rendimiento o paneles solares térmicos y fotovoltaicos, conseguir edificios de consumo casi nulo para los servicios de climatización y ACS e incluso consumo nulo mediante la aplicación de la metodología presentada.

Para obtener los edificios de consumo nulo es necesaria la generación de energía eléctrica, con los rendimientos actuales de paneles solares fotovoltaicos, es necesario reducir de forma importante las necesidades energéticas de la instalación para que esta sea viable, la reducción de esas demandas se consigue mediante la aplicación de las medidas pasivas dentro de las primeras fases de aplicación de esta metodología.

Un edificio pasivo, sin instalaciones de climatización incorporadas no puede garantizar, en determinados climas, el mantenimiento de las condiciones interiores de confort al producirse picos de demanda en los que será necesaria la presencia de una instalación activa. La combinación de ambas acciones es necesaria, las pasivas puesto que por muy eficientes que sean las instalaciones o aunque se genere energía renovable in situ, los niveles de demanda de un edificio sin medidas de reducción de la demanda de energía son demasiado elevados y las activas puesto que incluso los edificios pasivos atraviesan por picos en su demanda que deben ser cubiertos y además con el menor consumo energético posible con el objetivo de acercarse lo máximo posible a valores nulos de consumo de energía primaria no renovable.

Si se compara el consumo de energía primaria no renovable 469.85 (kWh/(m²·a)) del modelo inicial, sin medidas de eficiencia energética y con instalaciones ineficientes, con los consumos en cada uno de los escenarios de 0, 3.8 y 7 (kWh/(m²·a)), respectivamente, puede observarse la dramática reducción en el consumo de energía en el edificio, resultante de la aplicación de la metodología demostrando esta su validez.

6. Referencias bibliográficas

- Carmona Fernández, D., Al Kassir Abdulla, A., Jaramillo Morán, M. Á., & Horrillo Horrillo, L. A. (2013). Zero energy buildings rehabilitated for low energy demand by using solar and biomass energy. *Current Opinion in Biotechnology*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.05.101>
- España. Orden FOM/1635/2013, Real Decreto 67137–67209 (2013).
- España. (2013b). Real Decreto 235/2013 de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. *Boe*, 1–14. Retrieved from <http://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-3904>
- España. Proyecto de real decreto por el que se modifica el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios (2016).
- European Commission. (2017). Nearly zero-energy buildings. Retrieved April 8, 2017, from <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings/nearly-zero-energy-buildings>
- III Congreso Edificios de energía casi, & Nula. (2016). *Libro de comunicaciones. III Congreso Edificios de energía casi nula*.
- Marszal, A. J., & Heiselberg, P. (2009). Zero Energy Building (ZEB) definitions – A literature review 2 . Different approaches for the ZEB concept based on literature review.
- Mihai, M., Tanasiev, V., Dinca, C., Badea, A., & Vidu, R. (2017). Passive House Analysis in

Terms of Energy Performance. *Energy and Buildings*, 144, 74–86.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.025>

Ministerio de Fomento. (2016). Documento de bases para la actualización del Documento Básico DB-HE, 1–13.

Parlamento Europeo y Consejo de las comunidades Europeas. (2010). Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europea y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios. *Diario Oficial de La Union Europea*, 13–35. Retrieved from http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2010.153.01.0013.01.SPA

Parlamento Europeo y Consejo de las comunidades Europeas. (2012). Directiva 2012/27/UE del parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. *Diario Oficial de La Unión Europea*, 1–56.

U.S. Department of Energy. (2017). EnergyPlus. Retrieved April 20, 2017, from <https://energyplus.net/>