



Received: 03/10/2021

Accepted: 14/10/2021

Anales de Edificación
Vol. 8, Nº2, 47-51 (2022)

ISSN: 2444-1309

Doi: 10.20868/ade.2022.5042

Estudio y análisis comparativo del consumo real de una vivienda passivhaus y del rendimiento de su instalación de aerotermia

Study and comparative analysis of the real consumption of a passivhaus house and the aerothermal installation performance

Lucio de la Cruz Pérez^a

^aColegio de Aparejadores y Arquitectos técnicos de Zaragoza

Resumen-- En el artículo se analiza desde el punto de vista del consumo de energía como ha sido el comportamiento real de una vivienda de tipología residencial colectiva certificada Passivhaus y construida en el año 2019. La citada vivienda, que está ubicada en el municipio de Zaragoza en zona climática D3, ocupa la primera planta de un edificio de 3 alturas y tiene todos los sistemas de producción térmica y resto de servicios alimentados con energía eléctrica. El estándar Passivhaus es un certificado de edificios de muy alta eficiencia energética que tiene entre sus características que las viviendas tengan una demanda de energía para calefacción y para refrigeración inferior a 15 kWh/m² y año para ambos casos, con una carga de calefacción y refrigeración menor o igual a 10 W/m². Finalmente se realiza un estudio comparativo real del rendimiento real y del COP de la instalación de producción térmica de la aerotermia para cada uno de los tres servicios (ACS, calefacción y refrigeración), en cada uno de los meses del año, bajo diversas hipótesis operativas y de temperaturas de consigna, obteniendo resultados muy interesantes desde el punto de vista de determinar cuál es el servicio que más energía consume y de establecer unos parámetros de funcionamiento de estas instalaciones para un mejor aprovechamiento térmico de la vivienda. Se realiza también un comparativo con una vivienda construida con criterios bioclimáticos en el año 2009.

Palabras clave— Consumo de energía; Vivienda Passivhaus; Eficiencia energética; Aerotermia; Rendimiento térmico.

Abstract— The article analyses from the point of view of energy consumption the real behaviour of a Passivhaus-certified collective residential dwelling built in 2019. The house, which is located in the municipality of Zaragoza in climate zone D3, occupies the first floor of a 3-storey building and has all the thermal production systems and other services powered by electricity. The Passivhaus standard is a certificate for buildings with very high energy efficiency, whose characteristics include that the dwellings have an energy demand for heating and cooling of less than 15 kWh/m² and year for both cases, with a heating and cooling load of less than or equal to 10 W/m². Finally, a real comparative study is made of the real performance and COP of the aerothermal thermal production installation for each of the three services (DHW, heating and cooling), in each of the months of the year, under different operating hypotheses and setpoint temperatures, obtaining very interesting results from the point of view of determining which service consumes the most energy and establishing the operating parameters of these installations for a better thermal use of the dwelling. A comparison is also made with a house built with bioclimatic criteria in 2009.

Index Terms— Energy consumption; Passivhaus house; Energy efficiency; Aerothermal energy; Thermal efficiency; Thermal performance.

I. INTRODUCCIÓN

EN el sector de la edificación en España existe una gran distancia que separa nuestro parque edificado de las exigencias europeas relativas a la eficiencia energética de los edificios y, a través de ellos, de las ciudades. Casi el 58 % de nuestros edificios se construyó con anterioridad a la primera normativa que introdujo en España unos criterios mínimos de eficiencia energética: la norma básica de la edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios. La Unión Europea ha establecido una serie de objetivos en el Paquete 20-20-20 «Energía y Cambio Climático» (European Commission, 2020), que establece, para los 27 países miembros varios objetivos obligatorios. El objetivo es destinar grandes esfuerzos y recursos para lograr los objetivos 2030 y de cara a 2050 conseguir la reducción del nivel de emisiones un 80-95 % en relación a los niveles de 1990 y por la que se van a movilizar grandes inversiones en la renovación de edificios residenciales y comerciales, al objeto de mejorar el rendimiento energético del conjunto del parque inmobiliario (COTEC, 2008).

En España, hace no mucho tiempo, se publicó el Real Decreto 732/2019 (Min. Transportes, 2019), que modifica el Código Técnico de la Edificación, incorporando un nuevo Documento Básico de Ahorro de Energía y fijando las premisas para la definición del Edificio de Consumo de Energía Casi Nulo, que será una realidad en unos meses.

Sin embargo, es cierto que, en diversas ciudades del país, principalmente en el norte de España, se está dando cierto movimiento técnico, empresarial y social que hace que se estén construyendo viviendas que se sitúan por encima incluso de lo prescrito en el referido RD 732/2019. Son viviendas o edificios de muy alta eficiencia de energía, siendo su estándar más extendido en la actualidad la certificación “Passivhaus”. Los edificios Passivhaus deben cumplir cinco principios (Com. Madrid, 2019), que son los siguientes: excelente aislamiento térmico, ventanas y puertas de alto aislamiento, eliminación de los puentes térmicos, ventilación controlada con recuperación de calor y estanqueidad al aire.

Cada vez está más demostrado la posibilidad que tienen los buenos edificios de mejorar la salud de las personas (García de Frutos et al., 2019), y prueba de ello es que hay varios factores que inciden de forma clara y directa sobre estado de salud de los usuarios de un edificio a corto y medio plazo y que muchos de ellos son inversamente proporcionales al consumo de energía. En el presente artículo se analizan algunos de los parámetros de consumo más importantes y se quiere demostrar de forma cuantitativa y real, comparando un nuevo edificio Passivhaus, con un edificio de 12 años que también posee buen comportamiento térmico.

Por todo ello, se pretende demostrar que una vivienda de alta eficiencia energética, en este caso certificada bajo el estándar Passivhaus, representa un salto cuantitativo y cualitativo muy importante, en la disminución del consumo de energía y en los estándares de confort de los usuarios, utilizando, como luego se mostrará una cantidad ínfima de energía en comparación con la media del parque edificado actual.

II. METODOLOGÍA

Para la realización de este estudio se han realizado los análisis de los diferentes consumos de energía de la vivienda analizada durante dos ejercicios consecutivos, años 2020 y 2021, con el objetivo de poder determinar el consumo de energía en los diferentes servicios térmicos y eléctricos que necesita la vivienda, así como los rendimientos térmicos y sus variaciones con una mejora en la gestión de estos. El patrón de utilización de la vivienda ha sido similar, con las mismas personas habitándola y con el hecho diferencial de que en la primavera del año 2020 tuvo lugar el confinamiento impuesto por la Covid-19 y que, por lo tanto, el consumo se debería haber resentido en los meses de abril y mayo.

Además, se realizará también un estudio comparativo en cuanto al consumo de energía realizado por esta misma familia en el año 2018 en otra vivienda ubicada muy cerca de la vivienda a estudio. Esta 2ª vivienda tiene una orientación nortesur ligeramente girada hacia el oeste (unos 15°) y está diseñada y construida con criterios bioclimáticos. Dentro de la distribución interior, hay que destacar un invernadero de captación solar, combinado con un muro acumulador de termoarcilla con acabado de mortero rugoso y color verde oscuro para mejorar la absorción del paramento. En cuanto a la distribución interior, dispone del salón, cocina y una habitación en orientación sur y dos habitaciones en orientación norte. Fue construida durante los años 2008-2009 y es justamente anterior al CTE (BOE, 2006), ya que se solicitó la licencia durante el periodo transitorio de su entrada en vigor.

A. Caso de estudio, vivienda analizada

La vivienda cuyo consumo energético se desglosa y se analiza en este artículo es una vivienda certificada bajo el estándar Passivhaus y que se encuadra en una promoción de 4 fases, que ocupan manzanas independientes, siendo la 3ª fase. La 2ª, 3ª fase y 4ª fase cuentan con la certificación passivhaus. Cuenta con una superficie útil de 143 m².

Esta vivienda tiene una orientación norte-sur con ligera inclinación hacia el oeste (unos 20°) y dispone de invernadero, aunque parcial. Al tratarse de una edificación Passivhaus tiene unos muros con muy elevado aislamiento térmico, carpinterías de muy elevadas prestaciones térmicas y los puentes térmicos tratados. Dada la gran superficie de huecos existentes es necesario destacar las características de las carpinterías y los vidrios. Las carpinterías son de PVC marca VekaVariant, Serie Ecoven 82 mm. con 7 cámaras en color blanco interior y anodizado plata en el exterior, con sistema monoblock y con rotura de puente térmico, persianas de aluminio anodizado térmico de 43 mm. color plata motorizadas con pulsador empotrado en marco. El acristalamiento de la carpintería exterior es un vidrio de triple hoja de seguridad, formado por dos lunas incoloras de 4mm de espesor y una de seguridad 3+3 mm. bajo emisivo, separadas por dos cámaras estanca de aire con gas argón de 16 mm. (4/16/4/16/3+3).

En cuanto a la distribución interior, las estancias vivideras se encuentran en la orientación sur y los dormitorios en la orientación norte. Ha sido construida durante los años 2018 y

2019 y entregadas en otoño de 2019. Para la ventilación dispone de un recuperador de calor de alta eficiencia de la marca Siber, siendo su estanqueidad al aire de 0,40 renovaciones/hora, según el ensayo blower door realizado, de acuerdo con la norma UNE-EN 13829 (AENOR, 2002).

La producción de calor, ACS y frío se realiza mediante equipo de aerotermia marca Panasonic, equipo individual para producción de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria (ACS), mediante un sistema tipo bomba de calor aerotérmica (aire- agua), con unidad hydrokit, colocada en el armario de instalaciones de cada vivienda. Características: Modelo: : Hydrokit Integrado WH-ADC0309H3E5 con depósito acumulador de 185 litros y unidad exterior Modelo WH-UD07HE5-1.

El sistema de calefacción y refrigeración es de tipo de suelo radiante por agua a baja temperatura. El sistema consiste en una serie de tuberías instaladas bajo el pavimento de la vivienda, a través de las cuales recircula agua a baja temperatura proveniente de la bomba de calor. Estas tuberías parten desde un colector situado en la entrada de la vivienda.

Calidad del edificio	Este edificio	Criterios	Criterios alternativos
Calefacción			
Demanda de calefacción [kWh/(m ² a)]	11	≤ 15	-
Carga de calefacción [W/m ²]	10	≤ -	10
Refrigeración			
Demanda refrigera. & deshum. [kWh/(m ² a)]	9	≤ 15	15
Carga de refrigeración [W/m ²]	7	≤ -	10
Frecuencia sobrecalentam. (> 25 °C) [%]	-	≤ -	-
Frecuencia humedad excesivamente alta [%]	0	≤ 10	-
Hermeticidad			
Resultado ensayo presión (n ₅₀) [1/h]	0,4	≤ 0,6	-
Energía Primaria renovable (PER)			
Demanda PER [kWh/(m ² a)]	58	≤ 60	60
Generación (referencia: huella proyectada) [kWh/(m ² a)]	0	≥ -	-

Fig. 1. Certificación Passivhaus de la vivienda.

B. Caso de estudio, perfil de los usuarios de la vivienda.

Los usuarios de la vivienda analizada son una familia de dos adultos con dos niños pequeños de 4 a 6 años. El perfil de consumo de energía es el normal de una familia de este tipo. Durante los años 2020 y 2021 únicamente se han ausentado de la vivienda 7 días durante el mes de agosto de cada año.

C. Caso de estudio, instrumentos de medición y estándar de temperaturas interiores

Los instrumentos de medición empleados para la toma de datos de consumo de energía han sido los siguientes:

- Para el sistema de producción y distribución de calefacción, refrigeración y ACS sistema de medición de la propia instalación modelo Panasonic Aquarea All in One de 7kW bizona.
- Para la discretización del consumo eléctrico de los diversos servicios eléctricos de la vivienda: analizador de redes marca Circutor.
- Para las mediciones de sistema de ventilación y lavadora-secadora: Power meter KWE-PM01- EU.

En cuanto a las temperaturas interiores en invierno están

programadas para que no sean inferiores en ningún momento de 22 °C en las estancias sur ni menores de 19,5 °C en las norte (dormitorios). En verano está programado el sistema para que no sobrepase nunca la temperatura de 26° C las estancias sur que son las más cálidas. Hay que decir que debido a la buena temperatura interior de las paredes tanto en invierno como en verano la sensación de confort interior en la vivienda es muy buena a las temperaturas descritas, destacando en palabras de los usuarios “la sensación que se disfruta en las estancias norte en verano que es verdaderamente sorprendente y que hace que nunca haga falta dormir con las ventanas abiertas”.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, y en los sucesivos apartados de este punto, se muestran los análisis obtenidos para el consumo de cada uno de los servicios analizados, junto con el rendimiento estacional de las instalaciones térmicas.

A. Consumo total de energía por tipo de servicio

Se muestra en la Tabla 1 los datos de consumo de energía para todo el año 2021 y el resumen del año 2020 y las ratios de consumo por metro cuadrado y año.

Como puede apreciarse se obtienen unos datos de consumo de energía bajísimos, destacando la práctica ausencia de consumo de calefacción en invierno y de refrigeración en verano. Además, los consumos totales que se obtienen por metro cuadrado y año son extraordinariamente bajos (21,94 kWh/m2 y año!!), dado además el perfil de usuarios de la vivienda, con niños pequeños con demandas superiores a otras edades. Si se analizan los consumos individuales en cuanto al porcentaje respecto al consumo total se observa que el consumo de calefacción representa el 2,21 % del total, algo verdaderamente sorprendente; el consumo de ACS el 12,29 %, el de la ventilación el 6,57 % y el del frigorífico-congelador el 22,50 %. La Fig. 2 muestra el peso de cada consumo en el consumo total.

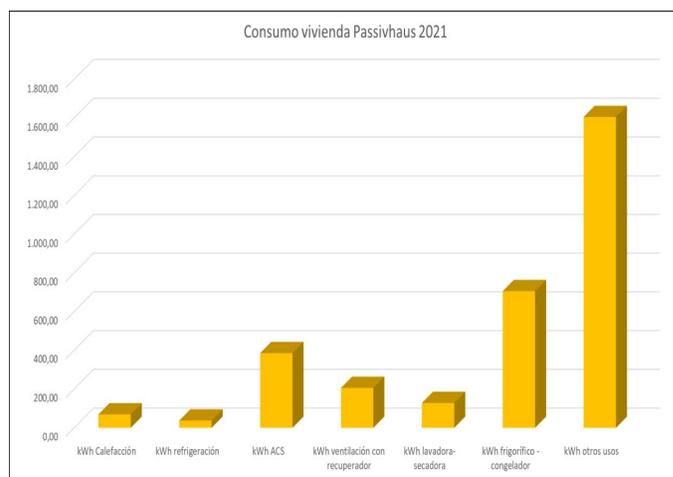


Fig. 2. Peso de cada consumo sobre el consumo de energía.

B. Rendimiento de las instalaciones térmicas de aerotermia

La Tabla 2 muestra el rendimiento de las instalaciones de aerotermia discretizando por producción de calefacción, frío o ACS.

TABLA I
DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS POR TIPO DE SERVICIO ENERGÉTICO VIVIENDA PASSIVHAUS

Mes	kWh total	kWh Calef.	kWh Refrig.	kWh ACS	kWh térmicos	kWh no térmicos	kWh Vent. C/ Recup.	kWh Lavad.	kWh Frig. y Cong.	kWh otros usos	% kWh
ene-21	377,73	22,40	0,00	67,60	90,00	287,73	17,86	13,90	59,21	196,76	23,8%
feb-21	265,59	0,00	0,00	43,20	43,20	222,39	16,13	13,35	53,48	139,43	16,3%
mar-21	306,56	0,00	0,00	52,40	52,40	254,16	17,86	13,20	59,21	163,90	17,1%
abr-21	280,45	2,40	0,00	44,80	47,20	233,25	17,28	11,80	57,00	147,17	16,8%
may-21	249,94	0,00	0,00	25,20	25,20	224,74	17,86	8,30	60,99	137,60	10,1%
jun-21	201,59	0,00	0,00	12,40	12,40	189,19	17,28	6,90	58,14	106,87	6,2%
jul-21	244,58	0,00	24,80	9,20	34,00	210,58	17,86	6,62	62,17	123,93	13,9%
ago-21	162,34	0,00	12,80	5,20	18,00	144,34	13,82	4,97	60,39	65,16	11,1%
sep-21	193,63	0,00	0,00	13,20	13,20	180,43	17,28	10,40	58,43	94,32	6,8%
oct-21	228,41	0,00	0,00	20,80	20,80	207,61	17,86	11,10	60,69	117,96	9,1%
nov-21	260,51	2,00	0,00	42,40	44,40	216,11	17,28	13,20	57,00	128,63	17,0%
dic-21	366,51	42,40	0,00	49,20	91,60	274,91	17,86	14,60	59,21	183,24	25,0%
ene-22	329,75	16,80	0,00	56,80	73,60	256,15	17,86	13,90	59,21	165,18	22,3%
TOTAL 2020	3.254,07	94,00	97,90	382,30	574,20	2.679,87	210,24	129,44	711,70	1.628,48	17,6%
TOTAL 2021	3.137,84	69,20	37,60	385,60	492,40	2.645,44	206,21	128,34	705,92	1.604,98	15,7%
% respecto al consumo total		2,21%	1,20%	12,29%	15,69%	84,31%	6,57%	4,09%	22,50%	51,15%	
TOTAL consumo 2021 / m2	21,94	0,48	0,26	2,70	3,44	18,50	1,44	0,90	4,94	11,22	15,7%

Se detecta perfectamente que el menor rendimiento se produce en la producción de frío y que el rendimiento de la producción de ACS es directamente proporcional a la temperatura exterior de intercambio. De destacar que, mediante el cambio de parámetro de temperatura de consigna de almacenamiento de agua en el termo de ACS, bajando 2°C, se consigue mejoras sustanciales del consumo y también del COP de ACS (se empezó a operar de este modo desde septiembre del año 2021). El consumo de cada instalación térmica se puede apreciar en la Fig. 3.

TABLA II

RENDIMIENTO DE LAS INSTALACIONES TÉRMICAS (MEDIANTE EQUIPO DE AEROTERMIA)

	COP Total	COP		COP ACS
		calefacción	refrigeración	
ene-21	3,3	4,5		3,0
feb-21	3,6			3,6
mar-21	3,5			3,5
abr-21	3,9	8,6		3,7
may-21	4,4			4,4
jun-21	5,3			5,3
jul-21	3,4		2,6	5,5
ago-21	3,2		2,2	5,9
sep-21	4,6			4,6
oct-21	4,3			4,3
nov-21	3,5	7,8		3,3
dic-21	3,1	2,9		3,3
TOTAL	3,6	3,7	2,4	3,7

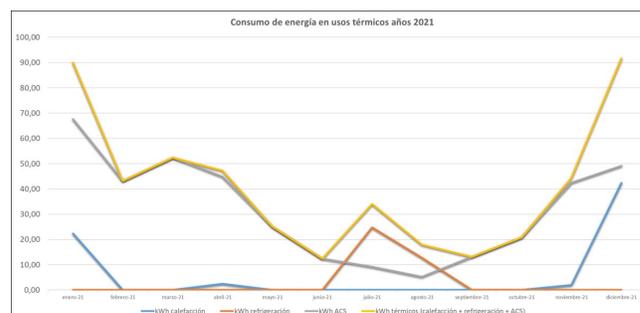


Fig. 3. Evolución del consumo mensual de las instalaciones térmicas.

C. Coste económico de los suministros energéticos.

El coste económico de los consumos energéticos, en este caso solamente electricidad por estar alimentada también la aerotermia por esta fuente de energía son los siguientes:

TABLA III
COSTE DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA

Año	Importe	€/kWh	€/m2 y año
Importe (€) 2020	776,10 €	0,2385	5,43
Importe (€) 2021	785,18 €	0,2502	5,49

D. Comparativa con el consumo de una vivienda con criterios bioclimáticos.

La comparativa de consumo entre la vivienda Passivhaus y la vivienda con criterios bioclimáticos y de menor superficie aparece recogida en la Tabla 4.

TABLA IV
 COSTE DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA

	Consumo vivienda PH 2020	Consumo vivienda PH 2021	Vivienda bioclimática 2018
kWh Calefacción	94,00	69,20	2.625,00
kWh refrigeración	97,90	37,60	85,30
kWh ACS	382,30	385,60	950,30
kWh eléctricos otros	2.679,87	2.645,44	2.225,30
TOTAL kWh	3.254,07	3.137,84	5.885,90

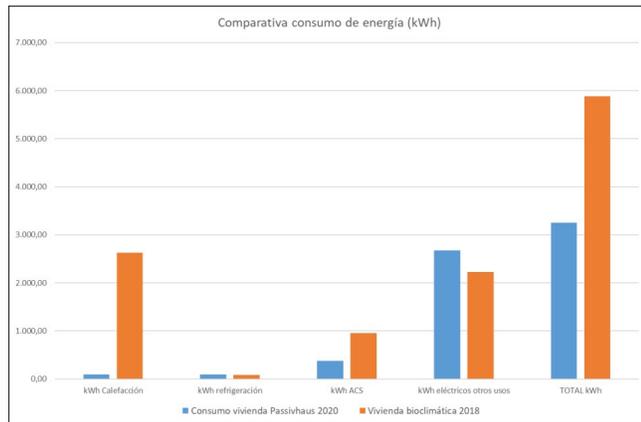


Fig. 4. Comparativa del consumo real entre las dos viviendas.

IV. CONCLUSIONES

Del estudio realizado se obtienen varias conclusiones muy claras; en primer lugar que en las viviendas de altas prestaciones energéticas, como es el caso de la certificación Passivhaus, el consumo de energía para calefacción en una zona D3 ha pasado a ocupar un puesto irrelevante, ya que solamente representa un 2,21 % del consumo de energía total. Algo parecido puede decirse de la producción de ACS, que si bien representa un 12,29 % del consumo, ocupa también un lugar muy secundario entre los servicios que más energía consumen.

Como conclusión final cabe destacar que para el ahorro de energía en los edificios de consumo de energía casi nulo es necesario poner el foco en la iluminación, los electrodomésticos y otros aparatos del hogar, ya que se han convertido en los protagonistas del consumo actual de la energía.

Analizando en profundidad los datos, se extrae también como conclusión que las posibilidades existentes en la renovación energética del parque edificatorio existente son casi infinitas, porque con estos datos el sector de la edificación se puede erigir en el gran protagonista de la lucha contra el cambio climático y por la descarbonización.

REFERENCIAS

- Ayuntamiento de Zaragoza. Plan General de ordenación Urbana de Zaragoza.
- Commission of the European Communities (COTEC), “Commission staff working document- accompanying document to the proposal for a recast of energy performance of buildings directive (2002/91/EC)- Summary of the impact assessment,” 2008.
- Consejería de Economía y Hacienda. Comunidad de Madrid. Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo de energía casi nulo.
- European Commission, «Energy-efficient buildings: multi-annual roadmap for the contractual PPP under Horizon 2020.,» 2013.
- García de Frutos, Marrot Ticó, Monzón Chavarrias, Payán de Tejada Alonso, Fernández Hernández, López- Asiain Martínez (2019). 7 Llaves para un edificio saludable. Consejo General de la Arquitectura Técnica, Consejo General de Colegios de Médicos y Organización Médica Colegial de España.
- Gobierno de España. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Gobierno de España. Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre que modifica el Código Técnico de la Edificación incorporando un nuevo Documento Básico de Ahorro de Energía, una nueva Sección “Protección frente a la exposición al radón” del Documento Básico de Salubridad y una modificación puntual del Documento Básico de Seguridad en Caso de Incendio en la sección SI2 de “Propagación exterior”.
- Norma UNE-EN 13829. Aislamiento térmico. Determinación de la estanqueidad al aire en edificios. Método de presurización por medio de ventilador 2002.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.