

ANALES de Edificación

Anales de Edificación Vol. 6, N°3, 40-45 (2020) ISSN: 2444-1309

Doi: 10.20868/ade.2020.4614

Received: 07-11-2020 Accepted: 10-11-2020

Estudio y Análisis Comparativo de la Calidad del Aire Interior de una Vivienda Bioclimática versus una Vivienda Certificada Passivhaus

Study and Comparative Analysis of the Indoor Air Quality of a Bioclimatic House versus a Passive House Certified House

L. de la Cruz Pérez

Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Zaragoza, Zaragoza, España

Resumen— En el artículo se realiza un estudio comparativo totalmente real de la calidad de aire que han tenido unos usuarios reales en el interior de una vivienda finalizada en el año 2009, dentro de un edificio diseñado con criterios bioclimáticos, y de la calidad de aire de la que disfrutan esos mismos usuarios, con idénticos patrones de comportamiento, en una vivienda certificada bajo el estándar Passivhaus, construida en el año 2019 y que también forma parte de un edificio residencial colectivo. Se analizan los patrones de temperatura, humedad, concentración de dióxido de carbono y de formaldehídos. Además, se realizan diversos ensayos en función de determinados regímenes de funcionamiento del sistema de ventilación con recuperador de calor y de la aerotermia. Como conclusión final, se obtienen unos resultados que sirven para evaluar de un modo real, objetivo y transparente, como pueden mejorar la calidad de aire interior de una vivienda, en condiciones estándar de uso, los nuevos edificios de consumo de energía casi nulo y como esta mejora en la calidad del aire incide de un modo muy positivo en la salud de las personas.

Palabras clave— Calidad de aire; vivienda Passivhaus; renovación aire adecuada; Ahorro de Energía.

Abstract— The paper makes a totally real comparative study of the air quality that some real users have had inside a house completed in 2009, inside a building designed with bioclimatic criteria, and of the air quality of the enjoyed by those same users, with identical behavior patterns, in a house certified under the Passivhaus standard, built in 2019 and which is also part of a collective residential building. The patterns of temperature, humidity, concentration of carbon dioxide and formaldehyde are analyzed. In addition, various tests are carried out depending on certain operating regimes of the ventilation system with heat recovery and aerothermal energy. As a final conclusion, results are obtained that serve to evaluate in a real, objective and transparent way, how new buildings with almost zero energy consumption can improve the indoor air quality of a home, under standard conditions of use, and how This improvement in air quality has a very positive impact on people's health.

Key words—Air quality; Passivhaus housing; adequate air renewal; Energy saving.

I. INTRODUCCIÓN

N el sector de la edificación en España existe una gran Edistancia 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 Cambio Climático» (European Commission, 2013), 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, recientemente, se ha publicado el Real Decreto 732/2019, 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, 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. En el presente artículo se analizan algunos de los 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 las viviendas de alta eficiencia energética, en este caso certificada bajo el estándar Passivhaus, representan un salto cuantitativo y cualitativo muy importante, en cuanto a la mejora de la salud de los usuarios

dentro de los edificios y al consumo de energía de estos.

II. METODOLOGÍA

La metodología que se ha empleado ha sido mediante un conjunto exhaustivo de mediciones realizadas en las dos viviendas que se someten a estudio. Para ello, se ha realizado un estudio en estancias habitadas por las mismas personas de una familia, con idénticos parámetros de comportamiento en ambos casos; en primer lugar, en una vivienda construida en 2008 con criterios bioclimáticos (vivienda 1) y posteriormente, en una vivienda Passivhaus certificada (vivienda 2).

Para el análisis de la calidad del aire se han utilizado unos equipos de medida y registro de datos denominados "MICA", fabricados y comercializados por la empresa inBiot. Estos dispositivos permiten una gran versatilidad a la hora de consultar y exportar los datos almacenados, para que luego puedan ser tratados con cualquier otra herramienta. Los parámetros analizados han sido: concentración de CO₂ (ppm), humedad relativa (%), temperatura interior (°C) y concentración de formaldehído (μg/m³).

El análisis de la concentración de CO2 es probablemente el mejor indicador para evaluar la calidad del aire interior de un espacio y de su tasa de renovación de aire. El dióxido de carbono es un gas inodoro, incoloro e insípido. Se trata de una molécula muy estable y, a priori, no es un gas tóxico, pero sí puede llegar a ser asfixiante por desplazamiento del oxígeno en concentraciones muy elevadas. La humedad relativa (%), expresa el grado de saturación del aire a partir de la relación entre la cantidad de vapor de agua contenida en el aire (humedad absoluta) y la máxima cantidad de vapor de agua que el aire sería capaz de contener a esa misma temperatura (humedad de saturación). Está íntimamente relacionada con el tipo de calefacción empleado y con el grado de infiltraciones que tiene la vivienda. La temperatura seca del aire es el parámetro habitual para determinar el confort térmico en el interior de una estancia. Aunque es muy importante analizar la temperatura seca del aire, junto con la temperatura superficial de los paramentos, por el gran efecto que tiene la radiación. El formaldehído, el aldehído más importante, es quizá la sustancia tóxica más común en los espacios interiores. En condiciones normales de temperatura y presión el formaldehído se presenta como un gas, con un olor punzante, intenso y penetrante. Es hidrosoluble y muy volátil. Muy presente en interiores de edificios, debido a materiales de construcción - tableros de virutas aglomeradas y otros materiales derivados de la madera, equipamiento, tratamientos o productos de higiene y cosmética, gases de escape y humo de tabaco - como consecuencia de una combustión lenta. No existe valor de referencia para interiores de viviendas.

Se han tomado datos cada 10 minutos de cada una de las

L. de la Cruz Pérez 42

variables consideradas. Además, estos datos se obtuvieron en el mes de octubre de 2019 para la vivienda 1 y entre enero y febrero de 2020 para la vivienda 2. Todas las estancias analizadas estaban situadas en orientación norte y con adecuados huecos de ventilación. Además, en la vivienda 1 se obtuvieron datos manuales de temperatura y humedad en enero de 2019. Finalmente se han armonizado todos los datos obtenidos, y se han realizado comparaciones reales en las dos casuísticas planteadas, que se han estudiado con las mismas premisas de uso de los usuarios; en primer lugar, respecto a una habitación ocupada por adultos y en 2º lugar en una habitación ocupada por un niño de corta edad. Por último, se han analizado ciertos datos de consumo energético, para analizar las posibles influencias del sistema de ventilación mediante recuperador de calor en todo el resto de las variables.

III. CASO DE ESTUDIO

Tal como se ha desglosado previamente, el objetivo del presente estudio es realizar una comparación en cuanto a la calidad del aire interior que presentan dos viviendas, analizadas con idénticos patrones de uso y ocupadas por una familia en situación absolutamente real. La comunicación técnica pretende determinar, mediante datos reales y actuales, la diferencia en cuanto a los niveles medidos de varios parámetros de calidad de aire de dos viviendas, diseñadas ambas pensando en ser ejemplos de eficiencia energética, una de ellas construida en los años 2008-2009 (vivienda 1) y la otra durante los años 2018-2019 (vivienda 2). Se definen a continuación las características más importantes de las dos viviendas objeto de este trabajo.

A. Características de la vivienda 1

La denominada vivienda 1 es una vivienda ubicada en el barrio de Valdespartera de Zaragoza. Este barrio, cuyo planeamiento está principalmente dirigido a viviendas de protección oficial, es un barrio en el que es preceptivo que las viviendas se diseñen y construyan con criterios bioclimáticos. Para ello, en su generalidad, las manzanas tienen orientación norte sur, los edificios poseen invernaderos de captación solar con muros acumuladores de alta inercia en las fachadas sur, junto a un aislamiento térmico y carpinterías de prestaciones mejoradas en las fachadas norte.

La vivienda 1 está ubicada en este barrio, teniendo una orientación norte-sur ligeramente girada hacia el oeste (unos 15°). 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 absortancia 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, ya que se solicitó la licencia durante el periodo transitorio de su entrada en vigor. Dispone

de huecos generosos al sur y suficientes en la orientación norte. No dispone de equipo artificial de ventilación y su estanqueidad al aire, por algún ensayo blower door [8], realizado en viviendas similares se podría cifrar en 4,5-5 renovaciones/hora a una presión de 50 Pa. La producción de calor se realiza mediante caldera de gas centralizada con apoyo de placas solares que suministran agua caliente a radiadores ubicados en cada una de las estancias.

La superficie útil total de la vivienda es de 82 m² y las dos estancias donde se han realizado los ensayos son dormitorios con orientación norte, que se van a denominar estancia 1.1 y estancia 1.2. La estancia 1.1 tiene 12,40 m² y está ocupada por adultos y la estancia 1.2 tiene 10,30 m² y sirve durante las pruebas de dormitorio para un niño de corta edad.

B. Características de la vivienda 2

La denominada vivienda 2 es una vivienda también ubicada en citado barrio de Valdespartera, pero en otra zona. Se trata de 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 y 3ª fase cuenta con la certificación passivhaus y la 4ª fase (actualmente en construcción) también optará a ello.

La vivienda 2 tiene también una orientación norte-sur con ligera inclinación hacia el oeste (unos 20 °) y también dispone de invernadero, aunque en este caso 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. 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 0,50 renovaciones/hora, según el ensayo blower door realizado, de acuerdo a la norma UNE-EN 13829. La producción de calor, ACS y frío se realiza mediante equipo de aerotermia marca Panasonic, siendo distribuida la energía posteriormente por el interior de la vivienda mediante suelo radiante y refrescante.

La superficie útil total de la vivienda supera los 100 m² y los dos estancias donde se han realizado los ensayos son dormitorios con orientación norte, que se van a denominar estancia 2.1 y estancia 2.2. La estancia 2.1 tiene 15,00 m² y la estancia 2.2 tiene 11,00 m², siendo la ocupación idéntica y por las mismas personas que en el caso de sus homólogas, estancia 1.1 y estancia 1.2.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación y en los sucesivos apartados de este punto, se muestran los análisis obtenidos para cada una de las variables analizadas. Se han priorizado por orden de importancia de cara a la calidad del aire que afecta a la salud de los usuarios y que no estén condicionada por las interferencias de otros elementos ajenos al edificio. Por ello, se considera como parámetro más importante la concentración de CO₂, posteriormente se considera la humedad como segunda variable preferente, a continuación la temperatura de bulbo seco y para finalizar la concentración de formaldehído. En el caso de los formaldehidos, no se considera que tengan una baja importancia relativa, que son bastante importantes, si no que, como se apreciará en los resultados, su concentración está muy influenciada por elementos externos a la propia edificación que condicionan totalmente los datos obtenidos.

A. Comparación de la concentración de CO₂

Se muestran a continuación los datos horarios obtenidos de ppm de CO₂ para ambas viviendas.

TABLE I RESULTADOS COMPARADOS ANÁLISIS CO_2 VIVIENDA 1 Y VIVIENDA 2

Concentración de CO2 (ppm)			
Hora	Habitación 1.1 (Vivienda 1)	Habitación 2.1 (Vivienda2)	
0:00	2.013	754	
1:00	2.790	837	
2:00	3.073	987	
3:00	3.440	1.026	
4:00	3.640	1.059	
5:00	3.707	1.075	
6:00	3.803	1.096	
7:00	3.720	1.109	
8:00	3.287	973	
9:00	2.213	882	
10:00	1.367	699	
11:00	1.233	624	
12:00	1.100	555	
13:00	1.183	551	
14:00	1.020	516	
15:00	997	488	
16:00	1.013	494	
17:00	1.063	548	
18:00	1.077	539	
19:00	1.080	528	
20:00	993	585	
21:00	1.073	618	
22:00	1.083	679	
23:00	1.310	708	
Promedio	1.974	749	
Promedio noche (0 - 8 horas)	3.379	1.007	

CO2 1111L	11071 1 1	TITIETTE I	
Concentración de CO2 (ppm)			
Hora	Habitación 1.2 (Vivienda 1)	Habitación 2.2 (Vivienda2)	
0:00	1.980	870	
1:00	2.080	858	
2:00	2.233	839	
3:00	2.323	817	
4:00	2.387	812	
5:00	2.440	813	
6:00	2.433	798	
7:00	2.440	804	
8:00	2.087	758	
9:00	1.960	706	
10:00	1.300	604	
11:00	1.117	586	
12:00	1.013	551	
13:00	1.050	543	
14:00	1.003	486	
15:00	907	483	
16:00	877	473	
17:00	967	476	
18:00	1.027	479	
19:00	937	550	
20:00	947	590	
21:00	1.053	586	
22:00	1.423	819	
23:00	1.787	872	
Promedio	1.569	675	
Promedio noche (0 - 8 horas)	2.266	821	



Fig. 1. Concentración media diaria (ppm de CO₂) estancia 1.1

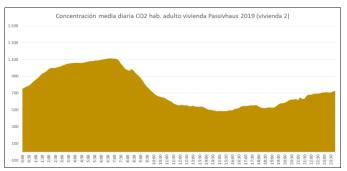


Fig. 2. Concentración media diaria (ppm de CO₂) estancia 2.1



Fig. 3. Comparativa concentración de CO_2 entre estancia 1.1 (vivienda 1) y estancia 2.1 (vivienda 2)

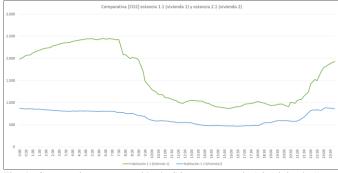


Fig. 4. Comparativa concentración de CO_2 entre estancia 1.2 (vivienda 1) y estancia 2.2 (vivienda 2)

Como puede apreciarse los resultados son muy concluyentes, ya que en una vivienda Passivhaus se tiene una concentración media de CO_2 casi 3 veces menores que una vivienda convencional, estando en el caso de la vivienda 2 en unos ratios muy saludables y compatibles con un ambiente perfecto para una calidad de sueño adecuada y en el caso de la vivienda 1 con unos ratios de CO_2 durante la noche que rozan la insalubridad más absoluta.

B. Comparación de la humedad relativa (%)

Se muestran a continuación los datos obtenidos para ambas viviendas, en el mes de enero, con la incidencia la de la producción de calor para calefacción.

Puede apreciarse que la humedad es mucho más baja en la vivienda 1, causada por el doble efecto de la calefacción, junto con la mayor facilidad para las infiltraciones en días de viento de noroeste (cierzo) que suelen caracterizarse por ser muy secos. La humedad en la vivienda 2 durante el mes de enero es

L. de la Cruz Pérez 44

muy confortable y en torno al 50 %, con casi nula variación en las diferentes horas del día. Sobre los valores de humedad relativa, la media medida en la vivienda 1 en el mes de enero se sitúa en 36,2% y en la vivienda 2 en 49,3 %, estando además, los valores mucho más estables en la vivienda 2.

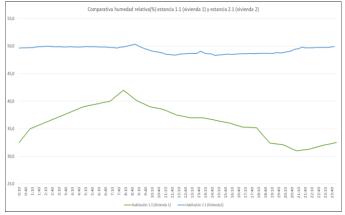


Fig. 5. Comparativa humedad relativa entre estancia 1.1 (vivienda 1) y estancia 1.2 (vivienda 2).

C. Comportamiento de la temperatura (%)

La incidencia de la temperatura es mucho menos influyente, ya que depende en los meses fríos de la consigna del termostato de la calefacción, que determina la mayor o menor producción de calor. Sin embargo, se ha comprobado, que en un margen de 20 días en enero, la variación de temperatura máxima y mínima en esos 20 días ha sido de 1,4 °C en el caso de la vivienda 2 (máxima de 22,6 °C y mínima de 21,2°C), mientras que en el mismo periodo del año anterior esta variabilidad ha sido de 4,5 °C (máxima de 23 °C y mínima de 18,5 °C) en la vivienda 1. Además, el consumo de energía para calefacción ha sido 5 veces superior en la vivienda 1 que en la vivienda 2 en este periodo de tiempo. En la gráfica siguiente se puede ver la evolución de la temperatura en la vivienda 2 durante 20 días este mes de enero de 2020 y la evolución media diaria a lo largo de las diferentes horas del día.



Fig. 6. Evolución temperatura 20 días de enero vivienda 2.

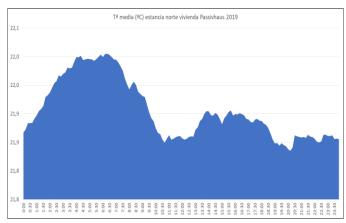


Fig. 6. Evolución temperatura media diaria vivienda 2 (passivhaus)

D. Concentración de formaldehído (µg/m³)

En cuanto a la concentración de formaldehído, no se han detectado diferencias significativas entre ambas viviendas, pero se ha detectado que hay dos hechos que condicionan la concentración de esta sustancia en ambas viviendas. Estas dos circunstancias son: la colonia que se echan los usuarios de la vivienda por la mañana antes de ir al trabajo y la limpieza de la vivienda que se realiza el viernes a mitad de mañana. Con ambas circunstancias se produce un pico de gran envergadura en la concentración de formaldehído y, a partir de ahí, comienzan a descender sus niveles. La estancias 1.2 y 2.2, no tienen el pico de la colonia (por ser de niño), pero sí el pico de los productos de limpieza de los viernes.

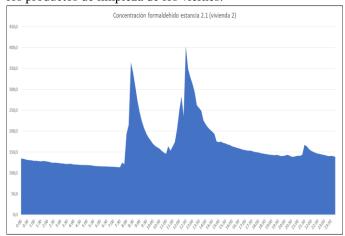


Fig. 6. Evolución media diaria de la concentración de formaldehído en la estancia 2.1

E. Resultados de consumo de energía

El consumo real total de los 3 meses completos de noviembre y diciembre de 2019 y enero de 2020 de la vivienda 2 ha sido 332,2 kWh, siendo el 58,8 % cosnumo de calefacción y el 41,2 % de ACS.

Los rendimientos reales del sistema de producción de calor (aerotermia) han sido:

Noviembre; calefacción: 4,6; ACS: 3,2
Diciembre; calefacción: 5,8; ACS: 3,5
Enero; calefacción: 3,9; ACS: 3,0

A pesar de tener más superficie, la vivienda 2 ha tenido un consumo durante estos 3 meses 5 veces menor que la vivienda 1 durante los mismos meses del año anterior, con idéntico patrón de consumo. Respecto al equipo de ventilación con recuperador de calor, se estima un consumo mensual en la vivienda 2 de 35 kWh/mes.

V. CONCLUSIONES

Del estudio realizado se obtienen varias conclusiones muy claras; en primer lugar en cuanto a la concentración de CO2, los valores de la vivienda Passivhaus de 2019 son muy saludables por la noche y compatibles con unas condiciones óptimas para el descanso, mientras que en la vivienda 1, los valores son muy elevados y pueden ocasionar algún tipo de problema en el medio y largo plazo. Sobre los valores de humedad relativa, la media medida en la vivienda 1 en el mes de enero se sitúa en 36,2% y en la vivienda 2 en 49,3 %, estando además, los valores mucho más estables a lo largo del día en la vivienda 2. En cuanto a la temperatura, esta depende mucho de las consignas de producción de calor, pero son mucho más estables y confortables en la vivienda 2. Por último, en cuanto al formaldehído no se ha podido establecer un patrón que diferencie significativamente ambas edificaciones, dado su evolución se encuentra totalmente condicionado por los elementos químicos que se emplean en el interior de la vivienda (colonias, detergentes, etc.).

Para finalizar, cabe destacar que el consumo de calefacción y ACS que ha tenido la vivienda 2 en los meses de noviembre, diciembre y enero de sólo 332,2 kWh, puede calificarse como "prácticamente nulo".

AGRADECIMIENTOS

Es de justicia agradecer en este documento a todas las empresas que han hecho posible la realización y uso de la vivienda Passivhaus y a la empresa InBiot que ha proporcionado los sistemas principales de medición.

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: multiannual roadmap for the contractual PPP under Horizon 2020...» 2013.

García de Frutos, Marrot Ticó, Monzón Chavarrías, 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.