

70. Rehabilitación e instrumentación energética de viviendas sociales con criterios pasivos. Estudio de caso en invierno.

Melgar S.G.^{1,2,*}, Andújar J.M.¹, Bohórquez M.A.¹

(*) Grupo de investigación TEP 192 "Control y Robótica", Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Huelva, 21871 Palos de la Frontera (Huelva), España, sergomel@uhu.es, +34687880714

(1) Grupo de investigación TEP 192 "Control y Robótica", Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Huelva, 21871 Palos de la Frontera (Huelva), España

(2) LAR Arquitectura, c/ Puerto 5 entreplanta A, 21003 Huelva, España

Resumen: El presente trabajo analiza las condiciones de confort interior en viviendas pasivas en invierno, en función de la variación diaria de la temperatura del aire interior en condiciones de envolvente estanca. Demuestra en base a datos obtenidos mediante la instrumentación en tiempo real de la vivienda rehabilitada que es posible alcanzar condiciones de confort compatibles con situaciones de pobreza energética en condiciones de invierno, sin necesidad de sistemas activos de climatización. Propone la adaptación del estándar passivhaus para la rehabilitación energética de edificios existentes, centrandose en mejorar la calidad y continuidad de la envolvente térmica, reduciendo al máximo las infiltraciones de aire y garantizando la calidad del aire interior instalando un sistema de ventilación de doble flujo con recuperación de calor.

Palabras clave: Eficiencia energética, Confort interior, Edificios de consumo de energía casi Nula (ECCN), Passivhaus, Rehabilitación energética, Pobreza energética, Ruina energética, Instrumentación energética.

1. Introducción

El sector de la edificación es clave para la reducción de gases de efecto invernadero responsables del fenómeno del calentamiento global (Cellura, Guarino, Longo, Mistretta, & Orioli, 2013; Mohareb & Mohareb, 2014; Ramon & Burgos, 2008; Stojiljković, Ignjatović, & Vučković, 2015). Múltiples investigaciones se centran en cómo proyectar y construir edificios de nueva planta con un comportamiento energético muy eficiente a modo de demostradores de investigación (Aldegheri et al., 2014; Irulegi, Torres, Serra, Mendizabal, & Hernández, 2014; Navarro et al., 2014; Ochoa & Capeluto, 2008; Pataky, Áts, Áts-Leskó, & Birtalan, 2014; Rodríguez-Ubinas, Montero, et al., 2014;

Rodríguez-Ubinas, Rodríguez, Voss, & Todorovic, 2014; Serra Soriano, Verdejo Gimeno, Díaz Segura, & Merí De La Maza, 2014; Terrados & Moreno, 2014; Terrados-Cepeda, Baco-Castro, & Moreno-Rangel, 2015). Otras centran el problema en la necesidad nuevas técnicas de construcción seca o prefabricada, con altos niveles de industrialización en los procesos (Avellaneda, González, Marques, & Vidal, 2009; Ruiz-Larrea, Prieto, & Gómez, 2008), pero casi siempre aplicados a nueva edificación, un sector marginal en la situación de crisis del sector en la que nos encontramos. Son muchos menos los estudios que focalizan el problema en cómo mejorar la eficiencia energética en la edificación existente, casi todos basándose principalmente en datos obtenidos mediante simulaciones energéticas (Chow, Li, & Darkwa, 2013; Chuah, Raghunathan, & Jha, 2013; Kharseh & Al-Khawaja, 2016; Murray, Walsh, Kelliher, & O'Sullivan, 2014), sin entrar a medir y a analizar el comportamiento real de los edificios rehabilitados con sistemas de instrumentación y análisis de variables físicas medidas in situ.

La situación actual del parque edificado español de viviendas principales (Estadística, 2011) es en un 55,9% previa a la primera regulación sobre condiciones térmicas en la edificación (Urbanismo, 1979), por lo que su comportamiento energético podría calificarse de ruinoso, desde los estándares normativos actuales. Según esa misma estadística del INE, un 29% más son previas a 2002, y por tanto muy anteriores a la regulación actual en materia de ahorro de energía (Fomento, 2006), que ha sido recientemente actualizada con fecha de septiembre de 2013.

Según Suárez y Fragoso (Suárez, 2016), el paso fundamental para alcanzar el objetivo marcado por la directiva 2010/31/UE consiste en la limitación al consumo de energía primaria no renovable y a la demanda energética en el edificio. La propia directiva europea deja indefinido el concepto de ECCN, confiando en los reglamentos a desarrollar por cada estado miembro la concreción del concepto.

El estándar de edificación *passivhaus* (Asdrubali, Bonaut, Battisti, & Venegas, 2008; Blunden, 2009; Brew, 2011; Cagna, 2012) fija, entre otros criterios la limitación de consumo de energía primaria en 120 kWh/m² anuales, y los de demanda de energética de calefacción y refrigeración en 15 kWh/m² anuales.

Por otra parte, el problema de la pobreza energética, entendido como la necesidad de la unidad familiar de invertir en energía más del 10% de su renta mensual (De Luxan García De Diego, Gómez Muñoz, & Román López, 2015), es creciente en nuestra sociedad, habida cuenta del continuo aumento de los precios de la energía y de la crisis económica que provoca el empobrecimiento de la mayoría de los ciudadanos de la eurozona. En esas condiciones no es razonable trabajar en clave de reducción de la demanda o de plazos de amortización, sino en la mejora de las condiciones de vida de los usuarios de esas viviendas.

El presente trabajo quiere completar un hueco importante en la bibliografía, orientado al estudio del confort térmico en el interior de viviendas sociales rehabilitadas en situación de pobreza energética. Se trata en definitiva de cómo mejorar las condiciones de vida de familias sin recursos para abordar los gastos corrientes derivados de la factura energética de su vivienda. Y de cómo conseguirlo a partir de medidas pasivas en la envolvente de la vivienda.

El presente trabajo se estructura de la forma que se expone a continuación. En el segundo apartado se describe la vivienda tipo estudiada, sus características arquitectónicas y constructivas. En el tercer apartado se expone la actuación de rehabilitación energética practicada en la vivienda. En el cuarto apartado se desarrolla el material y método específicamente desarrollado para la investigación que da soporte a este trabajo, y que han posibilitado la obtención de los resultados expuestos a continuación. En el quinto apartado se analizan los principales resultados obtenidos, que son ampliados y discutidos en el siguiente. En el séptimo y último apartado se reflejan las principales conclusiones obtenidas en la investigación.

2. Modelo de estudio

La vivienda estudiada se ubica en la ciudad de Huelva, con un clima templado en invierno, cálido en verano y un alto nivel de insolación anual. Integrada en un edificio plurifamiliar entre medianeras, forma parte de un tipo representativo de los crecimientos residenciales masivos de los años 60, 70 y 80 en España. Se ubica en la cuarta planta de un edificio de cinco plantas totales. Cuenta con dos fachadas opuestas: una exterior orientada a sureste por donde se produce el acceso al edificio y otra noroeste a patio interior de manzana, lo cual favorece la ventilación cruzada. La vivienda objeto de estudio está habitada por una familia joven de cinco miembros y tiene una superficie construida de 104,44 m².

Las calidades constructivas de la vivienda antes de la rehabilitación son muy deficientes, con cerramientos enfoscados y pintados exteriormente formados por citara, cámara de aire no ventilada y discontinua sin aislamiento interior, y trasdosado interior con tabique simple de rasilla. Las carpinterías son correderas de aluminio sin rotura de puente térmico, con vidrios monolíticos de 4 mm de espesor. El nivel de infiltraciones de aire exterior en la vivienda es muy alto. No incorpora sistema de ventilación ni de extracción de aire en baños. Las condiciones de confort interior de la vivienda previas a la rehabilitación son pésimas, tanto en verano como en invierno, según reportan sus usuarios.

3. Actuación de rehabilitación

Se han realizado actuaciones bajo el concepto de vivienda pasiva o de consumo de energía casi nulo (ECCN) aplicando el estándar de edificación passivhaus a la rehabilitación de viviendas, lo cual conlleva asegurar la mejora y continuidad del aislamiento térmico y la estanqueidad al aire de la envolvente de la vivienda. Estas actuaciones de rehabilitación energética se enmarcan dentro del proyecto de I+D+i EREBA2020 del grupo de investigación TEP192 Control y Robótica, financiado con cargo a fondos FEDER por la Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta

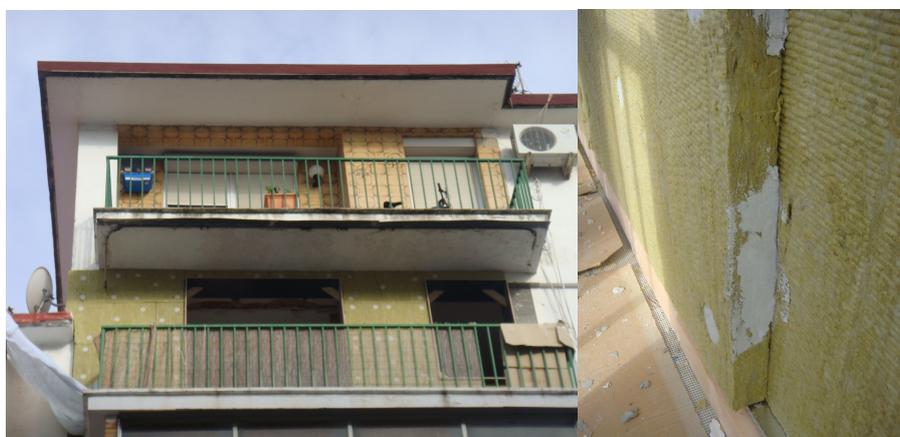


Fig. 1 Imagen de la fachada de la vivienda durante la obra

de Andalucía.

La actuación de rehabilitación energética de la envolvente en la vivienda ha consistido en la aplicación de un sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE) de lana mineral (LM) de 10 cm de espesor (Ver figura 1), dispuesta en dos capas contrapeadas de 5+5. El sistema concreto instalado es el denominado ISOFEK de la marca comercial Isover.

Para la solución de huecos de la vivienda se ha instalado un sistema de carpinterías de PVC practicables de siete cámaras (valor de $U_f = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) y espesor total de 82 mm que alojan vidrios de doble cámara bajo emisiva inyectada con gas argón al 90% de perfil 6/15/6/15/6 (valor de $U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$). Para no perjudicar la funcionalidad del espacio, en las cocinas se instalaron carpinterías de PVC correderas de cinco cámaras (valor de $U_f = 2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$) y espesor total 72 mm que alojan vidrios de cámara bajo emisiva inyectada con gas argón al 90% de perfil 6/16/6 (valor de $U_g = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$). El puente térmico entre el cerramiento



Fig. 2 Detalles de ejecución de huecos

existente y el marco de la carpintería (instalado a cara exterior de fachada, en el mismo plano que el aislamiento SATE) se resuelve mediante sistema SWS de la marca comercial Soudal, consistente en junta expansiva semipermeable -continua en todo el perímetro del marco- sellado con espuma de poliuretano flexible y rejuntado con silicona neutra de alta durabilidad (Ver figura 2). Para fijar mecánicamente la pesada carpintería a la hoja de cerramiento original de la fachada y mantenerla volada con respecto a la misma (consiguiendo una continuidad completa de la envolvente térmica, con ausencia absoluta de puentes térmicos en el encuentro con los huecos de fachada) se ha optado por instalar cajones completos formados con paneles fenólicos en cada uno de los huecos.

Las medianeras verticales de la vivienda se han tratado por el interior (ya que éstas resultan inaccesibles por el exterior) mediante trasdosado de tabique de doble

placa a una cara de yeso laminado autoportante con aislamiento continuo (no entre perfiles), de lana mineral de 5 cm de espesor.

Igualmente se ha actuado sobre el techo y sobre el suelo de la vivienda ya que la situación de pobreza energética de la mayoría de las viviendas de la zona podría provocar importantes flujos de calor a través de los forjados. En concreto, se ha revestido el techo con panel aislante continuo de lana mineral de 5 cm de espesor, sujeto mediante perfilera de omegas de acero galvanizado de bajo perfil (2,5 cm) y revestida de placa simple de yeso laminado. La solería de tarima flotante de la vivienda se ha levantado y vuelto a montar, para colocar bajo ella lámina aislante de bajo perfil (8 mm), compuesta de polietileno expandido, lámina termoreflexiva de aluminio y lámina antipacto de burbujas de aire.

La actuación de rehabilitación se ha completado con la instalación de un sistema de renovación que garantice la calidad del aire interior para los valores de alta estanqueidad conseguidos tras la obra ($h^{-1} = 1$ en el blower door test). La solución instalada consiste en un sistema de ventilación forzada de doble flujo de aire por conducto, con recuperación de calor de alta eficiencia. La máquina principal (Ver figura 3) consta de un ventilador de velocidad variable (100-350 m³/h), con un total de cuatro conductos: dos para ida y retorno del aire interior y dos de toma y expulsión de aire exterior. El sistema recupera en invierno el calor del aire viciado interior de la vivienda antes de expulsarlo al exterior, consiguiendo de esa manera que el aire fresco proveniente del exterior incremente su temperatura antes de ser impulsado al interior, con un rendimiento del 93%. Los conductos por donde se impulsa el aire de ventilación a muy baja velocidad discurren por el falso techo del pasillo, con impulsiones en habitaciones vivideras (sala de estar y dormitorios) y retornos en cuartos húmedos (cocina y baños). Para funcionar en condiciones de verano, la máquina está dotada de una sonda de temperatura que activa un by-pass para hacer funcionar el sistema en modo freecooling cuando se produce un tendencia al sobrecalentamiento.



Fig. 3 Recuperador de calor y sistema de conductos de renovación de aire

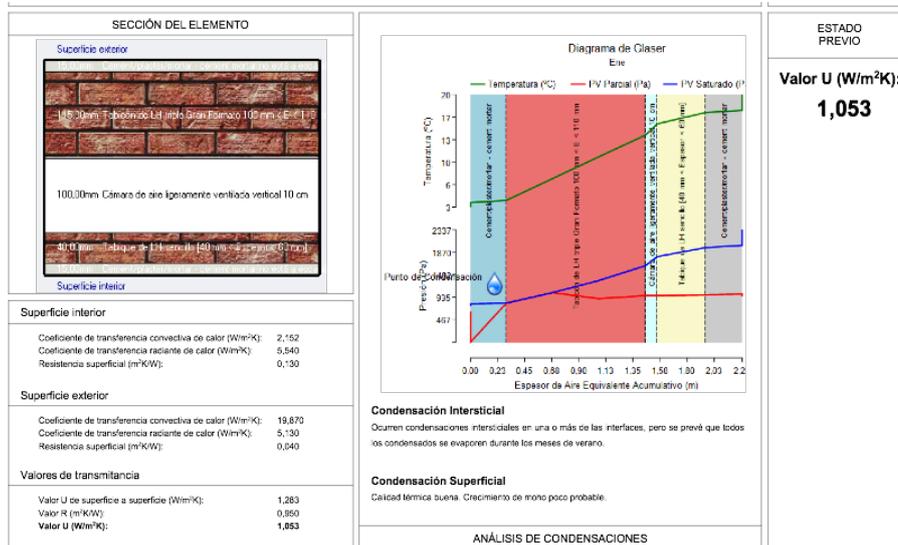


Fig. 4 Cerramiento exterior de la vivienda antes de la rehabilitación

Las figuras 4 y 5 muestran el esquema del cerramiento antes y después de la rehabilitación, así como sus principales parámetros físicos, análisis de transmitancias y condensaciones intersticiales.

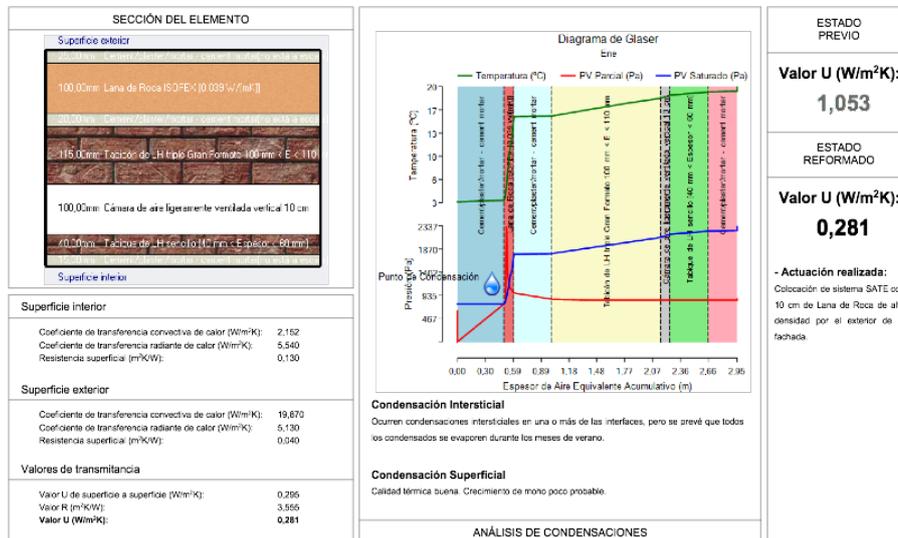


Fig. 5 Cerramiento exterior de la vivienda después de la rehabilitación

4. Material y método

La metodología empleada en esta investigación parte de un modelado 3D de la vivienda utilizando el estándar Building Information Modelling (BIM). Este modelo BIM permite optimizar la toma de decisiones en fase de anteproyecto al tratarse de una base de datos dinámica que integra información geométrica, energética y constructiva. Una vez tomadas las principales decisiones (geometría, implantación, orientación y protección de huecos), para la simulación energética del proyecto de ejecución se utilizó la herramienta EnergyPlus por su potencia y capacidad de personalización. No existen mediciones de temperatura en estado previo a la rehabilitación, ya que si bien se instaló un sistema de instrumentación en algunas de las estancias, sólo pudieron medirse dos meses de verano debido a los plazos previstos de obra; no resultando representativas como comparación para un estudio en clima frío.

Se considera que el confort térmico en invierno a efectos de esta investigación está determinado desde el punto de vista cualitativo por la ausencia de fluctuaciones importantes de temperatura, y desde el punto de vista cuantitativo por aquellas condiciones de temperatura por encima de los 18 °C.

Los datos adquiridos en el mes de diciembre del año 2015 incluidos en este trabajo, se han realizado en condiciones de vivienda ocupada, y sin aporte alguno de sistemas de calefacción. En ningún caso se han abierto las ventanas, manteniendo la calidad del aire interior gracias al sistema de ventilación con recuperación de calor instalado.

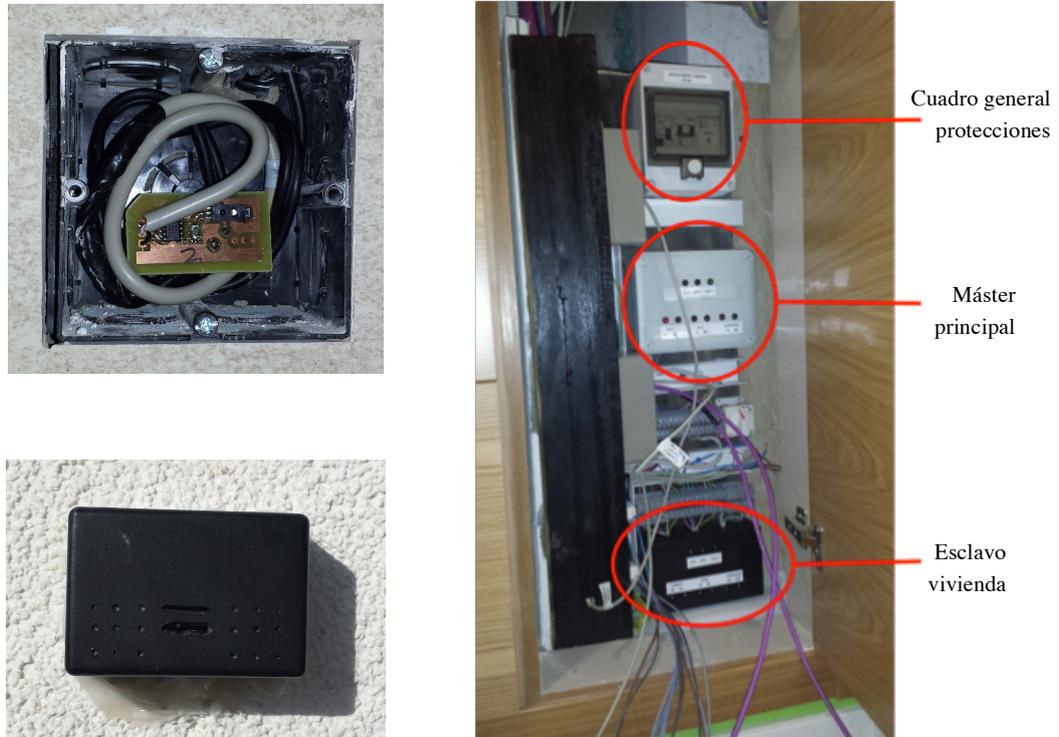


Fig. 6 Sensor interior, sensor exterior y centralización de comunicaciones de instrumentación

Para la adquisición de los datos de temperatura en el exterior e interior de la vivienda se han instalado dos sensores por estancia, seleccionando a efectos del presente trabajo los localizados en el salón principal y cocina, por tratarse de estancias de uso de día ubicadas en fachadas opuestas de la vivienda. Toda la sensorística instalada está cableada a nivel de señales y gobernada por un máster principal que centraliza todas las comunicaciones y las envía a través de internet a los servidores del grupo de investigación en la ETS de Ingeniería de la Universidad de Huelva, donde quedan almacenados los datos en tiempo real. En la figura 6 podemos ver dos de los sensores instalados en el interior y el exterior de la vivienda. Igualmente, en la figura 4 observamos la centralización de comunicaciones ubicada en un cuadro anexo al de electricidad de la vivienda, junto a la puerta.

Para la adquisición y posterior almacenamiento de todas las señales de la vivienda bajo estudio se ha desarrollado una aplicación software (instrumento virtual) que

toma los datos, detecta errores en la comunicación, almacena y permite la realización de gráficas e informes. En la figura 7 a continuación se muestra la pantalla de medición de temperaturas y la ubicación de los sensores en la vivienda.

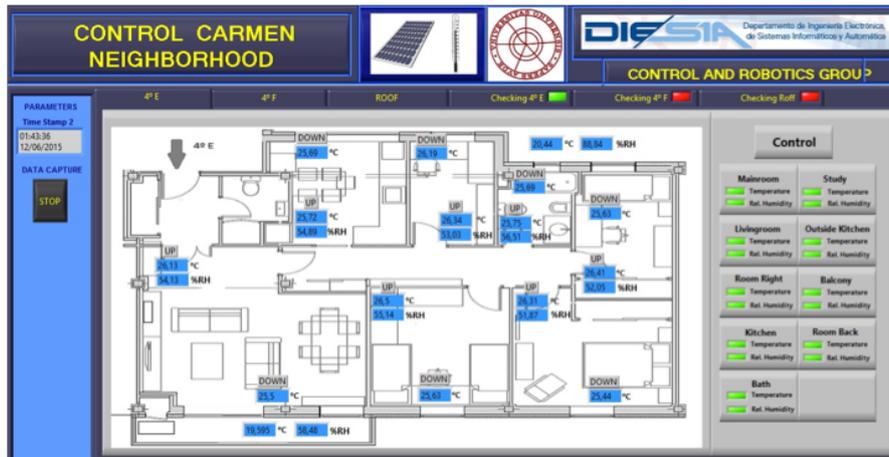
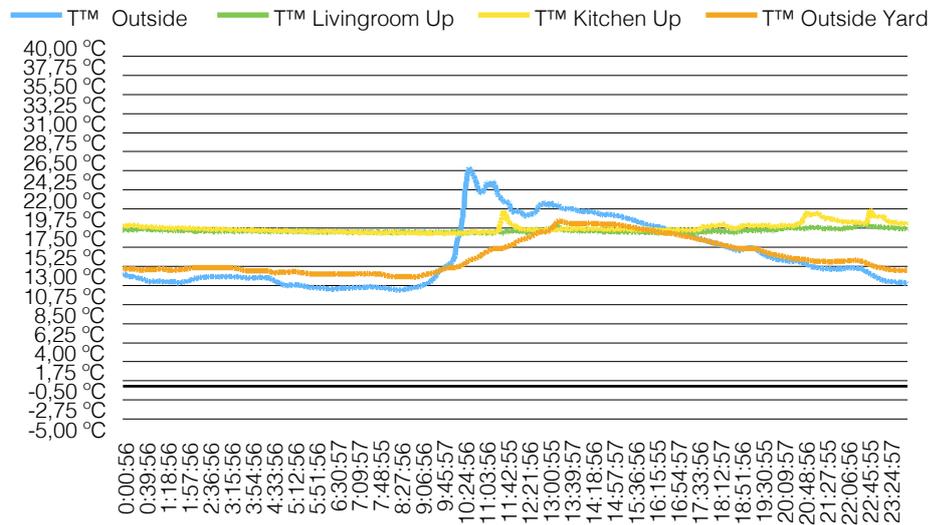


Fig. 7 Ubicación de sensores en la vivienda

5. Resultados

En las gráficas 1 y 2 a continuación exponemos los resultados de evolución de la temperatura diaria obtenidos en dos días representativos de de clima frío (8 y 12 de Diciembre de 2015), del año completo de mediciones ya realizado en la vivienda rehabilitada. Nótese la gran variabilidad de la temperatura irradiada sobre los cerramientos exteriores de la vivienda (cerramiento a la calle en color azul y cerramiento a patio de manzana en color naranja), por oposición a lo estable de la temperatura interior del aire en la vivienda (sala de estar en color verde y cocina en color amarillo).



Gráf.1 Evolución de temperaturas día 8 Diciembre 2015

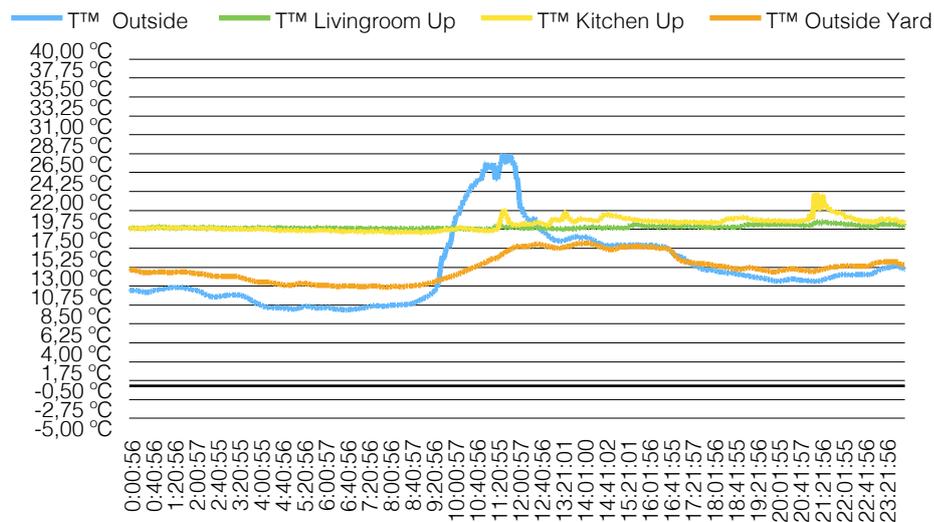
En la gráfica 1 anterior, correspondiente al día 8 de Diciembre de 2015, observamos que la temperatura exterior de los cerramientos adquiere un valor mínimo en torno a los 14 °C durante toda la noche, en el intervalo entre las 22:30 y las 9:00 de la mañana. Los valores mínimos absolutos son de 11,26 °C a las 8:30 para la fachada exterior y de 12,81 °C a las 8:54 para la fachada interior.

En el cerramiento exterior -orientado a sureste- esta temperatura sube rápidamente hasta marcar un máximo de 25,73 °C a las 10:36, para volver a caer esta vez mucho más paulatinamente, como consecuencia del movimiento del sol, hasta los 11,26 °C. La variación máxima de temperatura superficial de este cerramiento para ese día es de 14,47 °C.

En el cerramiento interior -orientado a noroeste- el aumento de la temperatura es más moderado y progresivo por no recibir casi insolación directa, con un máximo de 19,50 °C a las 13:21. Esta temperatura se mantiene una dos horas el entorno de los 19 °C, para continuar cayendo de manera progresiva hasta los 12,81 °C con la caída del sol y durante toda la noche. La variación máxima de temperatura superficial del cerramiento para ese día es de 6,69 °C.

Para ese mismo día del mes de Diciembre, la variación de temperatura interior de la vivienda es de tan sólo 1,16 °C en el sensor situado en la sala de estar (con un máximo de 19,13 °C, un mínimo de 17,97 °C y una media de 18,32 °C), y de 2,87 °C en el sensor situado en la cocina (con un máximo de 20,78 °C, un mínimo de 17,91 °C y una media de 18,63 °C). Nótese que en este caso, debido a que la vivienda está ocupada, aparecen dos picos visibles muy localizados de variación de temperatura en el sensor de la cocina, que coinciden apreciablemente con los periodos de preparación de alimentos. Por tratarse de picos puntuales, no suponen variación significativa de la media de temperatura diaria en la estancia.

La gráfica 2 anterior refleja los resultados medidos el 12 Diciembre de 2015, a los



Gráf.2 Evolución de temperaturas día 12 Diciembre 2015

efectos de comparar la pauta general de comportamiento de la envolvente en clima frío. En ella observamos que la temperatura exterior de los cerramientos adquiere un valor mínimo en torno a los 13 °C durante toda la noche y buena parte de la tarde, en el intervalo entre las 18:30 y las 9:00 de la mañana. Los valores mínimos

absolutos son de 9,01 °C a las 6:43 para la fachada exterior y de 11,75 °C a las 7:54 para la fachada interior.

En el cerramiento exterior -orientado a sureste- esta temperatura sube rápidamente hasta marcar un máximo de 27,64 °C a las 11:33, para volver a caer de manera brusca en primer término y luego mucho más paulatinamente, como consecuencia del movimiento del sol, hasta los 9,01 °C. La variación máxima de temperatura superficial del cerramiento para ese día es de 18,63 °C.

En el cerramiento interior -orientado a noroeste- el aumento de la temperatura es más moderado y progresivo por no recibir casi insolación directa, con un máximo de 16,94 °C a las 13:53. Esta temperatura se mantiene unas tres horas más el entorno de los 16 °C, para continuar cayendo de manera progresiva hasta los 11,75 °C con la caída del sol y durante toda la noche. La variación máxima de temperatura superficial del cerramiento para ese día es de 10,25 °C.

Para ese mismo día del mes de Diciembre, la variación de temperatura interior de la vivienda es de tan sólo 1,10 °C en el sensor situado en la sala de estar (con un máximo de 19,63 °C, un mínimo de 18,53 °C y una media de 18,88 °C), y de 4,87 °C en el sensor situado en la cocina (con un máximo de 23,03 °C, un mínimo de 18,16 °C y una media de 19,21 °C). Nótese de nuevo que, debido a que la vivienda está ocupada, aparecen dos picos visibles muy localizados de variación de temperatura en el sensor de la cocina, que coinciden apreciablemente con los periodos de preparación de alimentos. Como en el caso anterior, por tratarse de picos puntuales, no suponen variación significativa de la media de temperatura diaria en la estancia.

6. Discusión

En condiciones de invierno, la temperatura superficial varía con la exposición solar, con incrementos de 14,47 °C y 18,63 °C en el cerramientos exterior y de 6,69 °C y 10,25 °C en el interior, para los casos estudiados. Estas ganancias solares, son beneficiosas en invierno para el confort interior de la vivienda.

Del análisis de la variación de la temperatura del aire interior de la vivienda en invierno resultan valores de 1,16 °C en el salón y de 2,87 °C en la cocina. La media de temperatura medida durante el día es 18,32 °C y 18,63 °C respectivamente, de nuevo casi idéntica para ambas estancias. Otra vez el mismo patrón se repite el siguiente día de estudio en condiciones de invierno, con una variación de 1,10 °C en el salón y de 4,87 °C en la cocina; y medias diarias de 18,88 °C y 19,21 °C respectivamente. Hay que recordar que las variaciones máximas en la cocina están relacionadas con los calores de cocción generados como consecuencia de estar la casa habitada durante el invierno.

Desde la perspectiva del confort interior en invierno, comprobamos que es posible mantener la vivienda en valores muy estables en torno a los 19 °C sin necesidad de calefacción, lo que resulta un valor muy adecuado si incrementamos factores adaptativos que tienen que ver con la tasa de actividad metabólica y el nivel de arropamiento de los usuarios.

7. Conclusiones

La actuación de rehabilitación de la envolvente practicada en la vivienda estudiada permite garantizar un adecuado confort térmico interior en condiciones de pobreza energética en clima de invierno. Constituye un valor añadido al confort interior de la vivienda su estabilidad térmica interior, que no varía apreciablemente para el usuario durante las horas del día ni de la noche.

Los criterios de rehabilitación basados en el estándar de edificación *passivhaus* resultan adecuados para garantizar el adecuado comportamiento térmico de edificios de consumo casi nulo en condiciones de invierno en la localidad de estudio.

8. Agradecimientos

The authors would like to thank the ERDF of European Union for financial support via project “EREBA2020” of the “Programa Operativo FEDER de Andalucía 2007-2013”. We also thank all Public Works Agency and Regional Ministry of Public Works and Housing of the Regional Government of Andalusia staff and researchers for their dedication and professionalism. De igual forma a las empresas Soudal y Weber, y especialmente a LAR Arquitectura, Isover y Sabán Construcciones por su colaboración en la fase de ejecución de la obra de rehabilitación energética de la vivienda.

Bibliografía

- Aldegheri, F., Baricordi, S., Bernardoni, P., Brocato, M., Calabrese, G., Guidi, V., . . . Vincenzi, D. (2014). Building integrated low concentration solar system for a self-sustainable Mediterranean villa: The Astonysine house. *Energy and Buildings*, 77, 355-363. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.03.058
- Asdrubali, F., Bonaut, M., Battisti, M., & Venegas, M. (2008). Comparative study of energy regulations for buildings in Italy and Spain. *Energy and Buildings*, 40(10), 1805-1815. doi: 10.1016/j.enbuild.2008.03.007
- Avellaneda, J., González, J. M., Marques, G., & Vidal, J. (2009). Technological innovation in public housing developments: The INCASOL Technological Innovation Competition. *Informes de la Construcción*, 61(513), 87-100. doi: 10.3989/ic.09.002
- Blunden, K. (2009). Building research housing group. *Building Engineer*, 84(8), 29.
- Brew, J. S. (2011). Achieving Passivhaus standard in North America: Lessons learned. Paper presented at the ASHRAE Transactions.
- Cagna, J. (2012). Montgomery primary school, exete a lesson to be learned. *Building Engineer*, 87(7), 18-20.
- Cellura, M., Guarino, F., Longo, S., Mistretta, M., & Orioli, A. (2013). The role of the building sector for reducing energy consumption and greenhouse gases: An Italian case study. *Renewable Energy*, 60, 586-597. doi: 10.1016/j.renene.2013.06.019
- Chow, D. H. C., Li, Z., & Darkwa, J. (2013). The effectiveness of retrofitting existing public buildings in face of future climate change in the hot summer cold winter region of China. *Energy and Buildings*, 57, 176-186. doi: 10.1016/j.enbuild.2012.11.012
- Chuah, J. W., Raghunathan, A., & Jha, N. K. (2013). ROBESim: A retrofit-oriented building energy simulator based on EnergyPlus. *Energy and Buildings*, 66, 88-103. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.07.020
- De Luxan Garcia De Diego, M., Gómez Muñoz, G., & Román López, E. (2015). Towards new energy accounting in residential building. *Informes de la Construcción*, 67(Extra1). doi: 10.3989/ic.14.059
- Estadística, I. N. d. (2011). *Censo de población y viviendas*.
- Fomento, M. d. (2006). Código Técnico de la Edificación. *CTE-DB-HE*.
- Irulegi, O., Torres, L., Serra, A., Mendizabal, I., & Hernández, R. (2014). The Ekihouse: An energy self-sufficient house based on passive design strategies. *Energy and Buildings*, 83, 57-69. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.03.077
- Kharseh, M., & Al-Khawaja, M. (2016). Retrofitting measures for reducing buildings cooling requirements in cooling-dominated environment: Residential house. *Applied Thermal Engineering*, 98, 352-356. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.12.063

- Mohareb, E. A., & Mohareb, A. K. (2014). A comparison of greenhouse gas emissions in the residential sector of major Canadian cities. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 41(4), 285-293. doi: 10.1139/cjce-2013-0465
- Murray, S. N., Walsh, B. P., Kelliher, D., & O'Sullivan, D. T. J. (2014). Multi-variable optimization of thermal energy efficiency retrofitting of buildings using static modelling and genetic algorithms - A case study. *Building and Environment*, 75, 98-107. doi: 10.1016/j.buildenv.2014.01.011
- Navarro, I., Gutiérrez, A., Montero, C., Rodríguez-Ubiñas, E., Matallanas, E., Castillo-Cagigal, M., . . . Vega, S. (2014). Experiences and methodology in a multidisciplinary energy and architecture competition: Solar Decathlon Europe 2012. *Energy and Buildings*, 83, 3-9. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.03.073
- Ochoa, C. E., & Capeluto, I. G. (2008). Strategic decision-making for intelligent buildings: Comparative impact of passive design strategies and active features in a hot climate. *Building and Environment*, 43(11), 1829-1839. doi: 10.1016/j.buildenv.2007.10.018
- Pataky, R., Áts, Á., Áts-Leskó, Z., & Birtalan, O. (2014). Constructional considerations for the mobile Plus-Energy House. *Energy and Buildings*, 83, 195-208. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.07.015
- Ramon, A. P., & Burgos, A. C. (2008). *Moving the entire building sector towards low CO₂ emissions*. Paper presented at the PLEA 2008 - Towards Zero Energy Building: 25th PLEA International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Conference Proceedings.
- Rodríguez-Ubinas, E., Montero, C., Porteros, M., Vega, S., Navarro, I., Castillo-Cagigal, M., . . . Gutiérrez, A. (2014). Passive design strategies and performance of Net Energy Plus Houses. *Energy and Buildings*, 83, 10-22. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.03.074
- Rodríguez-Ubinas, E., Rodríguez, S., Voss, K., & Todorovic, M. S. (2014). Energy efficiency evaluation of zero energy houses. *Energy and Buildings*, 83, 23-35. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.06.019
- Ruiz-Larrea, C., Prieto, E., & Gómez, A. (2008). Architecture, industry and sustainability. *Informes de la Construcción*, 60(512), 35-45. doi: 10.3989/ic.08.037
- Serra Soriano, B., Verdejo Gimeno, P., Díaz Segura, A., & Merí De La Maza, R. (2014). Assembling sustainable ideas: The construction process of the proposal SMLsystem at the Solar Decathlon Europe 2012. *Energy and Buildings*, 83, 185-194. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.03.075
- Stojiljković, M. M., Ignjatović, M. G., & Vučković, G. D. (2015). Greenhouse gases emission assessment in residential sector through buildings simulations and operation optimization. *Energy*. doi: 10.1016/j.energy.2015.05.021
- Suárez, R., Fragoso, J. (2016). Estrategias pasivas de optimización energética de la vivienda social en clima mediterráneo. *Informes de la Construcción*, 68(541). doi: 10.3989

Terrados, F. J., & Moreno, D. (2014). "Patio" and "Botijo": Energetic strategies' architectural integration in "Patio 2.12" prototype. *Energy and Buildings*, 83, 70-88. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.03.081

Terrados-Cepeda, F. J., Baco-Castro, L., & Moreno-Rangel, D. (2015). Patio 2.12: Prefabricated, sustainable, self-sufficient and energy efficient house. Participation in the 2012 Solar Decathlon Competition. *Informes de la Construcción*, 67(538). doi: 10.3989/ic.13.138

Urbanismo, M. d. O. P. y. (1979). NBE-CT-79.