

CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO REAL DE INSTALACIONES TÉRMICAS– CASO DE ESTUDIO 32 VIVIENDAS SOCIALES EN SANTURTZI, BIZKAIA

Julen Hernández, Investigador Eficiencia Energética, TECNALIA, Basque Research and Technology Alliance (BRTA)

Patxi Hernández, Investigador Eficiencia Energética, TECNALIA, Basque Research and Technology Alliance (BRTA),

Iñigo Urra, Investigador Eficiencia Energética, TECNALIA, Basque Research and Technology Alliance (BRTA),

David Grisaleña, Técnico de Innovación y Sostenibilidad, Visesa – Vivienda y Suelo de Euskadi

Alberto Ortiz de Elgea, Director de Innovación y Sostenibilidad, Visesa – Vivienda y Suelo de Euskadi

Resumen: Este artículo presenta un análisis del comportamiento real de las instalaciones térmicas en un bloque de 32 viviendas sociales en Santurtzi, Bizkaia. Las instalaciones tienen como elemento principal dos bombas de calor aire-agua, que cumplen los requisitos de eficiencia y renovables del CTE según las herramientas de cálculo oficiales. Se presentan datos de monitorización del comportamiento real de los equipos, obtenidos durante una serie de pruebas realizadas en la fase de comisionado del edificio. Los resultados muestran que existen diferencias considerables entre los cálculos de diseño, de cálculos de cumplimiento del CTE, y las medidas reales. El análisis resalta la importancia de protocolos de medida y verificación de las prestaciones reales de instalaciones térmicas, como paso necesario para poder establecer esquemas de garantía de comportamiento energético.

Palabras clave: análisis, instalaciones, rendimiento, aerotermia, bomba de calor, eficiencia, garantía de rendimiento energético, medida y verificación, comisionado.

INTRODUCCIÓN:

A menudo, durante la fase de mantenimiento y uso de un edificio, se descubre que el comportamiento de las instalaciones de agua caliente y calefacción en el uso diario dista de lo esperado y de lo diseñado inicialmente para ese edificio. Este hecho puede deberse a múltiples factores, desde el rendimiento real de los equipos a la variabilidad del comportamiento de los usuarios, factores que pueden ser difíciles de determinar en la fase de diseño del edificio. Lo que es evidente es que un comportamiento de las instalaciones distinto al previsto provocará un mayor coste energético y de mantenimiento al tiempo que su funcionalidad se verá, con toda probabilidad, disminuida con la consiguiente afección a las personas usuarias del edificio.

Es necesario, por tanto, establecer protocolos adecuados de comisionado, medida y verificación de las instalaciones que vayan más allá de la mera comprobación de la funcionalidad de los equipos. Será igualmente importante, desde la fase de diseño del edificio y las instalaciones, establecer los indicadores a medir y, consecuentemente, dotar a las instalaciones de los elementos necesarios para monitorizar el comportamiento de las mismas, no como una suma de elementos o equipos sino como “un todo” al servicio del edificio. Las modificaciones del RITE planteadas en el borrador del Real decreto a finales del 2019, con el nuevo IT 1.2.4.8. añadido sobre “Eficiencia energética general de la instalación técnica”, indica que este tipo de medidas serán un requisito en el futuro próximo.

En el presente artículo, se describe la metodología empleada para analizar el comportamiento de las instalaciones de un edificio residencial de vivienda protegida mediante una serie de ensayos llevados a cabo durante los meses previos a su ocupación definitiva por las personas adjudicatarias.

Asimismo, se analizan los resultados obtenidos para sacar conclusiones sobre las causas que llevan a un comportamiento en condiciones reales menos eficiente que el esperado en fase de diseño. Finalmente se propone incorporar estos protocolos en sucesivas promociones de vivienda, de cara a reducir la brecha entre el diseño y el funcionamiento real de las instalaciones de agua caliente y calefacción, y poder facilitar la implementación de garantías de comportamiento energético de instalaciones.

EL EDIFICIO Y SUS INSTALACIONES:

El edificio elegido para servir de caso de estudio es un edificio residencial de 32 viviendas para alquiler social, promovido por Visesa, sociedad pública del Gobierno Vasco. Está situado en la localidad vizcaína de Santurtzi, ubicado por tanto en la zona climática C1 según la definición del CTE 2019.

Características del caso de estudio:

- Uso: residencial (vivienda protegida)
- Propiedad: pública (ALOKABIDE)
- Nº de viviendas: 32 (superficie total de viviendas ≈ 3.000 m²)
- Perfil:
 - 6 viviendas x 4 plantas
 - 4 viviendas x 1 planta baja
 - 2 viviendas x 2 semisótanos
 - 32 trasteros en sótano -1
 - 14 + 18 plazas de aparcamiento en sótanos -2 y -3
- Geometría del edificio: 36,2 x 15,6 m
- Orientación: Norte - Sur
- Programa:
 - 22 viviendas x 3 dormitorios (2 vv adaptadas)
 - 10 viviendas x 2 dormitorios
- Estado actual: terminado, entrada de propietarios
- Fecha de finalización: febrero 2019

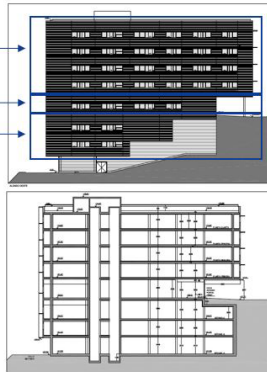


Figura 1. Principales características del caso de estudio.

Gracias a un detallado diseño para la reducción de infiltraciones y puentes térmicos, la instalación de ventilación mecánica de doble flujo con recuperación de calor y unas excelentes características térmicas para la envolvente, la demanda de calefacción calculada para una vivienda de estas características y zona climática es muy baja: sólo 6 kWh/m²·a. El edificio está alimentado por un sistema centralizado de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), en cuya sala hidráulica y cubierta se encuentran 2 bombas de calor aire-agua de 47 kWh cada una, 3 depósitos y 2 tanques de expansión. Cuenta además con un sistema de Ventilación Mecánica con Recuperador de Calor. .



Figura 2. Bombas de Calor y Ventilación Mecánica sobre la cubierta del edificio.

LOS ENSAYOS:

Tal y como especifica el RITE, las instalaciones térmicas deben diseñarse y calcularse, ejecutarse, mantenerse y utilizarse de tal forma que se reduzca el consumo de energía convencional de las instalaciones térmicas y, las

emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos. Esto se consigue mediante la utilización de sistemas eficientes energéticamente, de sistemas que permitan la recuperación de energía y la utilización de las energías renovables y de las energías residuales. Como procedimiento de comisionado de las instalaciones técnicas, previo a la entrega del edificio al cliente, en este edificio se han llevado a cabo una serie de pruebas que permiten comparar los rendimientos reales de la instalación con los teóricos utilizados en fase de proyecto.

La instalación se configuró para trabajar durante los ensayos en las condiciones de diseño fijadas (exigencia CTE), con temperaturas de distribución de ACS a 50°C, y de calefacción 45°C. Se efectuaron las siguientes pruebas durante 4 semanas en el mes de marzo 2020, en las condiciones que se explican a continuación:

- **Semana 0:** Acondicionamiento del edificio con una puesta a régimen gradual de las instalaciones para evitar patologías en viviendas debido a cambios bruscos de temperatura en el interior. Verificación de la ventilación mecánica (conectada permanentemente según especificaciones de diseño).
- **Semana 1: Sólo calefacción.** El sistema de producción de ACS anulado.
 - **Ensayos días 1 a 4:** Tª de consigna (SP) de los cronotermostatos 20°C de 08.00h a 22.59h, resto de horas 17°C. Cronotermostatos activados en todas las viviendas (32 viviendas en total).
 - **Días 5 a 7:** Tª de SP de los cronotermostatos 20°C de 08.00h a 22.59h, resto de horas a 17°C. Cronotermostatos activados sólo en 2 viviendas, en el resto quedan en modo OFF.
- **Semana 2: Calefacción + ACS.** Sistema con ambos controles activados, el de calefacción y ACS.
 - **Días 1 a 3:** Instalación a régimen sin apenas demanda en calefacción (2 viviendas en consignas de diseño) y sin demanda de ACS, pero manteniendo el circuito a régimen (24h).
 - **Días 4 a 6:** SP de cronotermostatos de las 32 viviendas activados y programados según el ciclo de 20°C de día y 17°C de noche. El circuito de ACS activado y a régimen.
 - **Día 7:** Cronotermostatos de las 32 viviendas activados y programados según el ciclo de 20°C de día y 17°C de noche. Circuito de ACS activado y generación de pico de demanda (2.800 l según diseño) en 2-3 horas.
- **Semana 3: Sólo ACS.** Sistema de calefacción anulado y el sistema de ACS a régimen, pero sin demanda.
 - **Días 1 a 3:** Se deja el sistema durante 72h a régimen sin demanda.

Para la realización de los ensayos, el primer paso consistió en la evaluación del grado de monitorización de la instalación. Este proceso se llevó a cabo mientras la instalación estaba en fase de ejecución, lo que permitió añadir los elementos de medición y comunicación necesarios para poder medir las variables de interés. A continuación, se muestra el esquema de principio de la instalación centralizada:

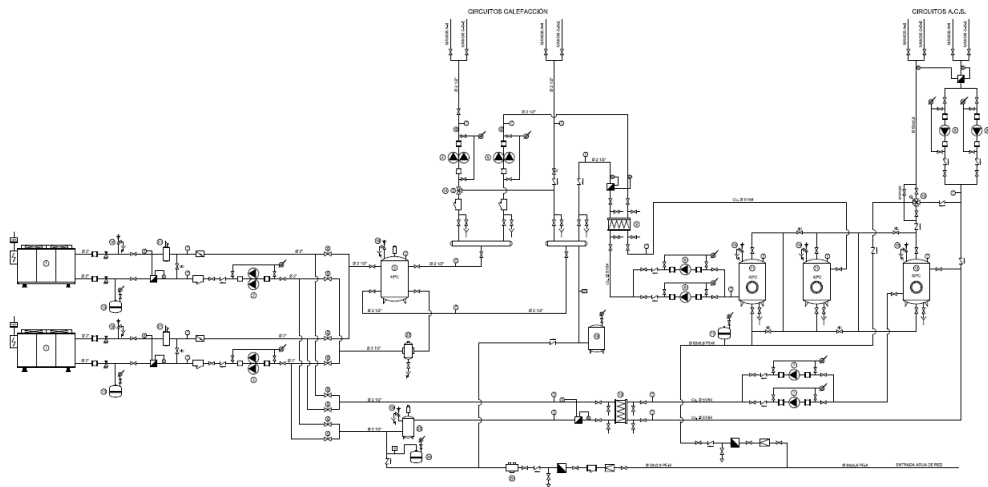


Figura 3. Esquema de principio de la instalación térmica del proyecto.

La empresa instaladora realizó las modificaciones necesarias añadiendo los siguientes elementos:

- 9 sensores de temperatura adicionales a los contemplados en el proyecto de ejecución.
- 1 contador de energía en el circuito de distribución de calefacción.

Con el sistema de control y monitorización de la instalación optimizado, configurado e implantado, se ha podido monitorizar, registrar y tratar todas las variables necesarias para obtener los siguientes indicadores:

- **C_g (kWh_e):** Consumo eléctrico en generación (energía final).
- **E_{tg} (kWh_t):** Energía térmica suministrada por los equipos de generación (energía útil).
- **$\sum E_{vn}$ (kWh_t):** Sumatorio de energía térmica registrada en contadores de energía de cada vivienda
- **C_{aux} (kWh_e):** Consumo de energía eléctrica de equipos auxiliares de la instalación energética (bombas de impulsión, sistemas de control, adquisición, ventilación...).
- Registro de T^a exterior (°C) y humedad relativa (%) exterior.

Con los datos obtenidos durante las pruebas, se calculan los siguientes rendimientos energéticos:

$$COP_{mBC1} \text{ (COP medio Bomba Calor 1)} = E_{tg1} \text{ (kWh}_t\text{)} / C_{g1} \text{ (kWh}_e\text{)}$$

$$COP_{mBC2} \text{ (COP medio Bomba Calor 2)} = E_{tg2} \text{ (kWh}_t\text{)} / C_{g2} \text{ (kWh}_e\text{)}$$

$$COP_{mic} \text{ (COP medio instalación completa)} = \sum E_{vn} \text{ (kWh}_t\text{)} / ((C_{g1} \text{ (kWh}_e\text{)} + C_{g2} \text{ (kWh}_e\text{)} + C_{aux} \text{ (kWh}_e\text{)}))$$

RESULTADOS

Las pruebas, han tenido una duración total de 432 horas. El 67% de las horas, la T^a exterior registrada se ha mantenido por debajo o igual a 15°C y los grados día calculados para una T^a de referencia de 15°C, han sido 21. Estas condiciones climatológicas durante el periodo de ensayo han sido más suaves que las esperadas, y la temperatura media exterior ha sido superior a la temperatura media anual. A continuación, se muestran algunas de las variables monitorizadas durante los días 1, 2, 3 y 4 de la semana 1 de ensayo que se utilizarán para el cálculo de los indicadores mencionados en el apartado "Ensayos".

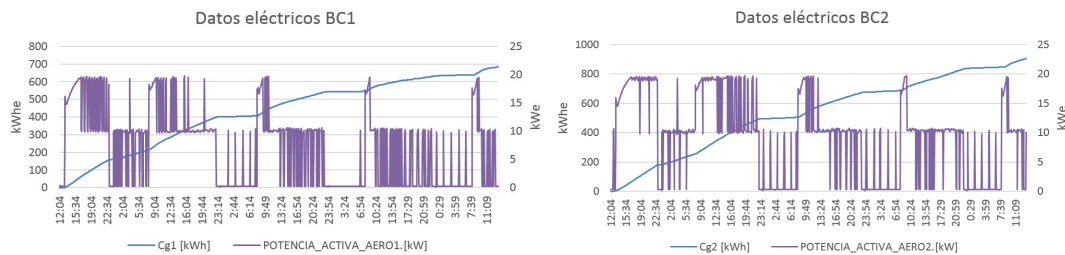


Figura 4. Gráfica datos eléctricos de las bombas calor BC1 y BC2. Potencia eléctrica (kW) y energía eléctrica C_{g1} (kWh)

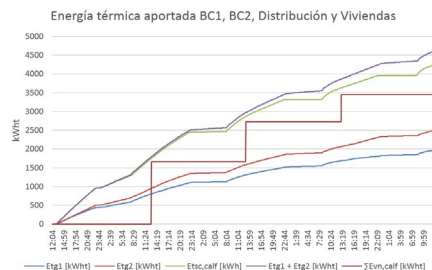


Figura 5. Gráfica de datos de energía térmica durante el periodo de ensayo.

En la figura 5 se puede observar cómo evoluciona la energía a lo largo del tiempo, desde la generación ($E_{tg1} + E_{tg2}$) hasta la energía útil entregada a las viviendas ($\Sigma E_{vn,calf}$), valores que permiten obtener los rendimientos energéticos de instalación completa. En este caso, todos los datos han sido registrados cada 5 minutos, excepto el de “sumatorio de energía de las viviendas”, que los contadores de viviendas registran únicamente una vez al día.

En la tabla 1 se han reflejado los resultados obtenidos de rendimiento energético medio de la instalación completa (COP_{mic}) y las variables más importantes definidas en el apartado “Ensayos” durante los 4 primeros días de la semana 1 y los 4 últimos días de la semana 2.

Variable	Unid.	Semana 1				Semana 2			
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
E_{tg1}	kWh _t	771	512	387	306	789	287	272	179
E_{tg2}	kWh _t	907	647	491	478	179	379	327	150
$\Sigma E_{vn,calf}$	kWh _t	1660	1065	727	616	896	611	532	104
C_{g1}	kWh _e	280	182	124	100	217	100	103	61
C_{g2}	kWh _e	332	238	167	168	79	140	130	64
C_{gaux}	kWh _e	38	36	35	37	39	36	36	11
COP_{mBC1}	-	2,76	2,82	3,13	3,06	3,64	2,87	2,63	2,93
COP_{mBC2}	-	2,73	2,72	2,94	2,84	2,26	2,71	2,52	2,34
COP_{mic}	-	2,55	2,34	2,23	2,02	2,67	2,21	1,97	2,09
$SCOP_{diseño}$	-	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57	2,57

Tabla 1. Resultados de COP_{mic} rendimientos energéticos obtenidos durante los ensayos vs rendimientos de diseño y objetivo.

En la semana 1 con sólo demanda de calefacción, se puede observar con las 32 viviendas demandando calefacción (días 1 a 4 de la semana 1), la diferencia entre generación ($E_{tg1} + E_{tg2}$) y energía entregada a viviendas ($\Sigma E_{vn,calf}$) es relativamente pequeña, y las pérdidas energéticas equivalen a un 12 % de la energía generada. Al reducir el número de viviendas que demandan calefacción en días posteriores hasta las 2 viviendas, las pérdidas energéticas suben hasta el 68% de la energía generada.

En la semana 2 al activarse la generación de ACS, se observa de manera similar que el porcentaje de pérdidas aumenta (y el COP_{mic} disminuye) considerablemente al reducir las demandas de las viviendas, lo que da muestra de la importancia del diseño y operación de la instalación en función de los perfiles de usuario de las viviendas. Se observa que los COP_{mic} en los diferentes días del ensayo son en su mayoría menores que el $SCOP_{diseño}$, introducido en la herramienta HULC para justificación del CTE, a pesar de las temperaturas medias exteriores relativamente altas durante el ensayo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

Este artículo ha presentado los resultados de caracterización mediante ensayos reales de las instalaciones térmicas en un edificio de 32 viviendas sociales de Santurtzi. La aplicación de protocolos de medida, verificación y comisionado como los presentados suponen un paso más hacia edificios de energía casi nula asequibles, en los que se pueda garantizar que los resultados de diseño concuerdan con los esperados y el consumo energético asociado a calefacción y ACS sea mínimo. El edificio en estudio presenta unas excelentes prestaciones de envolvente y ventilación mecánica con recuperación de calor, lo que reduce en gran medida la demanda. Los ensayos se han centrado en analizar la eficiencia de las instalaciones centralizadas de bomba de calor en condiciones reales, para comprobar que cumplen con las expectativas de diseño.

Las pruebas demuestran que, a la entrega de edificio, la instalación no llega a alcanzar el funcionamiento óptimo para el que se ha diseñado, independientemente del perfil de demandas que pueda tener a futuro. Extrapolando los resultados del ensayo a todo el año para comparación con $SCOP_{diseño}$, se obtienen COPs de instalación de 2,29 para calefacción y de 2,24 para ACS, en comparación con el 2,57 de diseño. Especialmente se ha observado que, en

condiciones en las que haya una baja demanda por parte de los usuarios, la instalación tendrá unos consumos parásitos considerables.

Las pruebas también han ayudado a optimizar, en la medida de lo posible, el funcionamiento, llevando a cabo modificaciones y detección de no conformidades. Se ha observado también que el rendimiento de la instalación se ve disminuido por una generación con bombas de calor no suficientemente flexible y limitada a 4 etapas , información relevante para ingenierías y equipos de diseño.

De manera específica para proyectos con bombas de calor, hay que recalcar que la utilización de los diferentes COP o SCOP del fabricante en fase de diseño (ej. COP declarado por el fabricante de la máquina en base a la EN 14511, o al SCOP en base a la norma EN 14825), deben hacerse de manera conservadora teniendo en cuenta la integración de los equipos en instalaciones complejas y con diferentes elementos. Los ensayos efectuados en la fase de comisionado como los presentados en este artículo, son una fuente de información muy relevante para intentar estimar en fase de diseño el comportamiento real de instalaciones completas.

Como conclusión, se recalca la importancia de protocolos de comisionado, medida y verificación, para la comprobación del comportamiento energético de las instalaciones en condiciones reales, antes de la entrega al cliente del edificio. Este tipo de estudios puede aportar beneficios a los distintos agentes, desde la promotora, pasando por el gestor o mantenedor del edificio , hasta el usuario final.

Para la promotora, este estudio facilita un análisis técnico-económico exhaustivo de opciones para sistemas de climatización y ACS, teniendo en cuenta demandas del usuario final y comportamiento real de las instalaciones. Esto facilita un aprendizaje continuo, hacia estrategias de diseño de instalaciones más robustas y simples donde se reduzca el coste y las diferencias entre expectativas y comportamiento real. La implantación de un procedimiento de comisionado como el presentado antes de la entrega del edificio, permite verificar el cumplimiento de los requisitos energéticos planteados en proyecto e incluso establecer términos de garantía de comportamiento energético con la constructora responsable del proyecto.

Para el operador, gestor, o mantenedor de un edificio, y de especial interés en el caso de viviendas sociales, esta metodología de comisionado permite conocer al detalle el comportamiento de la instalación energética bajo diferentes perfiles de uso, optimizar el control y hacer una mejor estimación de costes de operación. Los resultados de la prueba de comisionado pueden incluso facilitar la inclusión de criterios de garantía de comportamiento energético en contratos de gestión y mantenimiento de instalaciones.

Para el usuario final, el proceso revierte en una mejora de la eficiencia de las instalaciones, y de los costes asociados a su operación y mantenimiento.

AGRADECIMIENTOS:

Los autores agradecen la financiación recibida del programa de investigación e innovación Horizon 2020 de la Unión Europea, dentro del contrato número 754174, correspondiente al proyecto AZEB “Affordable Zero Energy Buildings”. El proyecto trata del desarrollo de una metodología para disminuir el coste global de ciclo de vida de edificios de consumo casi nulo.

REFERENCIAS

- [1] Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el reglamento de instalaciones térmicas en los edificios
 - [2] Propuesta de real decreto que modifica el real decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el reglamento de instalaciones térmicas en los edificios fecha: 26/07/2019
 - [3] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (2016), EN 14825:2016 Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling. Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance
- HULC (2016). Herramienta unificada LIDER-CALENER, versión 1.0.1493.1049. Disponible en: <http://www.codigotecnico.org/>