

| **La materialidad en la arquitectura del Movimiento Moderno:**

Instrumentalización para el análisis de viviendas

Antonio J. Torralba Silgado

Resumen

La tarea realizada por el Grupo de Ingeniería Electrónica ha consistido en monitorizar un conjunto de viviendas en el residencial Nuestra Señora del Carmen. Esta monitorización era necesaria para la caracterización térmica de las mismas con el fin de determinar los parámetros de uso de los recursos necesarios, principalmente para su climatización.

Las variables típicas a monitorizar para analizar el comportamiento energético de edificios y viviendas deben ser aquellas que aporten información suficiente y además relacionen la ocupación de la vivienda/edificio con la calidad del ambiente interior durante su uso habitual.

Generalmente, el factor más importante es la temperatura del aire ambiente, tanto la que rodea a la persona o personas que habiten la vivienda, como la temperatura de las superficies que la envuelven. Este último aspecto es relevante por el mecanismo de intercambio de energía radiante entre el sujeto y las superficies circundantes, aunque también hay otra serie de variables, como la humedad relativa y nivel de CO₂ ambiente, que juegan un papel muy importante en la identificación de los niveles de confort de la vivienda.

Si, además, somos capaces de establecer una relación con los requerimientos energéticos para mantener los niveles óptimos de confort, obtendremos una relación directa entre confort y eficiencia energética. Es más, este gasto energético será diferente tanto para refrigeración como para calefacción. Si en invierno queremos mantener la temperatura interior pese a la transferencia de calor al exterior, tendremos que aportar energía que compense las pérdidas. Si estamos en verano y queremos mantener una temperatura interior inferior a la exterior, tendremos que emplear energía extra para refrigerar el aire del interior de la vivienda.

Actualmente, los requerimientos energéticos para refrigeración en el sector residencial corresponden a la demanda de mayor importancia de energía en verano. También importa el gasto adicional para aumentar la temperatura de ambientes originado en las pérdidas de calor a través de ventanas y coberturas del edificio en invierno. Así, además de las variables ambientales y energéticas de la vivienda anteriormente descritas, es importante obtener datos concretos de la superficie de la vivienda, superficie de fachada, uso de la vivienda y número de habitantes.

Con esto se pueden relacionar datos estructurales propios de la vivienda con su uso habitual y consumo energético, para lograr el nivel de confort deseado. Pero, para alcanzar un conocimiento completo de las variables que intervienen en el proceso energético, debe relacionarse también con la estación del año y los datos climatológicos existentes en cada momento; es decir, la imagen completa necesaria para la monitorización de la vivienda deberá ser completada con los datos climatológicos históricos para su ubicación.

| **The materiality in the architecture of the Modern Movement:**

Instrumentalisation for housing analysis

Abstract

The task performed by the Electronic Engineering Group consisted in monitoring a housing complex in the residential quarter Nuestra Señora del Carmen. The purpose of this monitoring was to characterise the thermal properties of the buildings and determine the usage parameters of necessary energy resources, primarily with regard to heating and cooling.

The typical variables that must be monitored to analyse the energy efficiency of buildings and houses are those that provide sufficient information and associate the occupation of the house/building with indoor air quality and comfort levels in everyday conditions.

Generally, the most important factor is ambient air temperature, which includes the room temperature experienced by the building's occupants and the surface temperature of its envelopes. The latter is relevant due to the mechanism of radiant energy exchange between people and the surfaces around them, although there are also a number of other variables such as relative humidity and indoor CO₂ levels which play an important role in determining comfort level.

If we can also determine the energy resources required to maintain optimum comfort levels, we will have a direct correlation between comfort and energy efficiency. Moreover, this energy consumption varies depending on whether heating or cooling is required. In winter, if we want to keep indoor temperature constant despite heat transfer to the exterior, we will need more energy to compensate for that loss. In summer, if we want the indoor temperature to be lower than the outdoor, we will need to use additional energy to cool the air inside the house.

At present, air-conditioning requirements in residential buildings represent the highest energy demand in the summer months. The additional expense required to raise indoor temperatures, compensating for the loss of heat through windows and building envelopes in winter, is also considerable. Thus, in addition to ambient and energy-performance variables of the housing described above, it is important to obtain concrete data with regard to the floor area, facade surface, usage and number of occupants of the houses.

These data can be used to determine the correlation between the houses' structural properties and their habitual usage and energy consumption, and so achieve the desire level of comfort. However, in order to fully understand all the variables that affect energy performance, we must also factor in the season of the year and weather conditions at any given time; in other words, the complete image required to properly monitor this housing must incorporate historical weather data for this specific location.

Introducción

El objetivo del trabajo que ocupa este capítulo ha sido la monitorización de un conjunto de viviendas en el residencial Nuestra Señora del Carmen, con el fin de su caracterización térmica para determinar los parámetros de uso de los recursos necesarios, principalmente, para la climatización de las mismas.

Las variables a monitorizar en cada vivienda son:

Variables ambientales: temperatura y humedad interior en dos habitaciones de cada vivienda. Temperatura interior y exterior en un cerramiento.

Variables eléctricas: consumo de energía activa total de la vivienda y en los principales elementos de climatización (calefacción y aire acondicionado).

Se han monitorizado dos viviendas del citado conjunto residencial.

Condiciones importantes de esta monitorización:

Mínima invasión. Para ello se ha empleado comunicación inalámbrica, tanto en el interior de la vivienda (a fin de minimizar el tendido de cables), como desde el concentrado de datos hasta el punto de recogida (para no interferir con las comunicaciones propias de la vivienda).

Mínimo consumo. Se han empleado dispositivos sensores alimentados por baterías, con una vida útil suficiente para el desarrollo completo del proyecto.

Sistema de monitorización

Variables a monitorizar

Las variables típicas a monitorizar para analizar el comportamiento energético de edificios y viviendas deben ser aquellas que aporten información suficiente y, además, relacionen la ocupación de la vivienda/edificio con la calidad del ambiente interior durante su uso habitual.

El factor más importante, pero no el único, es la temperatura del aire ambiente, tanto la que rodea a los habitantes de la vivienda, como la temperatura de las superficies; este último aspecto es importante por el mecanismo de intercambio de energía radiante entre el sujeto y las superficies circundantes.

También hay otra serie de variables importantes, como la humedad relativa y el nivel de CO₂ ambiente, que juegan un papel muy importante en la identificación de los niveles de confort de la vivienda.

Para cada una de estas variables, se describe brevemente los valores ideales: Temperatura: Para vivir en una vivienda confortable es necesario mantener una

temperatura ambiente óptima. La temperatura más confortable para el ser humano en estado de reposo es de entre 18 y 20° C. Las personas actúan como focos que aumentan la temperatura en una habitación. Un concepto asociado al de mejor temperatura ambiente es el de la humedad del aire.

Humedad: Un ambiente agradable debe tener una humedad relativa del 50-60 % y se considera aceptable entre el 40 y el 70 %. Un ambiente demasiado húmedo favorece el desarrollo de gérmenes nocivos y hongos. Cada persona contribuye con su respiración a aumentar la humedad. Las plantas pueden ser una forma de equilibrar la humedad del ambiente en un entorno húmedo. Además, nos ayudan a mejorar la calidad del aire en nuestra vivienda, ya que absorben el CO₂.

Nivel de CO₂: Con la medida de esta variable monitorizada se indica la calidad del aire interior de la vivienda. Si superan los niveles recomendados, los usuarios de la vivienda pueden comenzar a experimentar diferentes síntomas como dolor de cabeza, cansancio, falta de concentración, etc. Las personas o los sistemas de combustión como las estufas se convierten en focos de emisión de CO₂. Por otro lado, con una buena ventilación se consigue permanecer en unos niveles adecuados de calidad del aire interior.

Además de tener en cuenta estos factores climáticos, si somos capaces de establecer una relación con los requerimientos energéticos para mantener los niveles óptimos de confort, obtendremos una relación directa entre confort y eficiencia energética. Es más, este gasto energético será diferente tanto para refrigeración como para calefacción y tanto en verano como en invierno. Si en invierno queremos mantener la temperatura del interior pese a la transferencia de calor al exterior, debido a la menor temperatura exterior tendremos que aportar energía que compense las pérdidas. Si estamos en verano y queremos mantener una temperatura interior por debajo de la más elevada del exterior, tendremos que emplear energía extra para refrigerar el aire del interior de la vivienda.

Actualmente, los requerimientos energéticos para refrigeración en el sector residencial corresponden a la demanda de mayor importancia en verano. También es importante el gasto adicional para aumentar la temperatura de ambientes a causa de las pérdidas de calor a través de ventanas y coberturas del edificio en invierno. Para propiciar una disminución apreciable de este consumo sin afectar la calidad de vida de los ocupantes, los edificios deben adecuarse a las características climáticas locales e incluir los correctos diseños, materiales y gestión de la ventilación natural.



Es decir, además de las variables ambientales y energéticas de la vivienda anteriormente descritas, es importante obtener datos concretos de: la superficie de la vivienda, la superficie de fachada, el uso de la vivienda y el número de habitantes.

Así, se pueden relacionar datos estructurales propios de la vivienda con su uso habitual y consumo energético para alcanzar el nivel de confort deseado. Pero para alcanzar un conocimiento completo de las variables que intervienen en el proceso energético se echa en falta algún tipo de relación con la estación del año y los datos climatológicos existentes en cada momento; es decir, la imagen completa necesaria para la monitorización de la vivienda deberá ser completada con los datos históricos de los observatorios de AEMET (o cualquier organismo similar) para la ubicación donde se encuentra la vivienda.

Se han instalado los siguientes sensores para las medidas de las variables ambientales y de confort en las viviendas monitorizadas:

- Sensor de temperatura y humedad ambiental
Especificaciones:
Voltaje: 2.4 a 5.5 V
Consumo: 80 uW
Rango de medidas (humedad relativa): 0-100 %
Precisión (HR): ± 4.5 %
Rango de operación (temperatura): -40 a +125° C
Precisión (temperatura): $\pm 0.5^\circ$ C
- Sensor de CO₂
Especificaciones:
Rango de medidas: 400-10000 ppm
Precisión: ± 30 ppm + 3 %
Consumo de corriente: 19 mA
- Consumo energético
Especificaciones:
Clase B (kWh) de acuerdo con EN 50470-3
Clase 1 (kWh) de acuerdo con EN 62053-21
Clase B2 (kVArh) de acuerdo con EN 62053-23
Precisión (corriente/voltaje): ± 0.5 RDG
Variables: W, var, PF, Hz, Phase
Medidas de energía totales: kWh y kVArh
Protección: IP50

Infraestructura previa a instalar

La infraestructura previa para que los dispositivos a instalar puedan funcionar correctamente consta de concentrador ONE-GO y concentrador Fibaro HCL.

Concentrador ONE-GO

Es el dispositivo principal que gestiona y almacena las medidas de todas las variables de los siguientes equipos:

- Sensor de temperatura y humedad.
- Sensor de CO₂.
- Medidas de consumo energético de la vivienda.

El dispositivo requiere alimentación a 230 V y conexión con cable Ethernet hacia el concentrador Fibaro HCL.

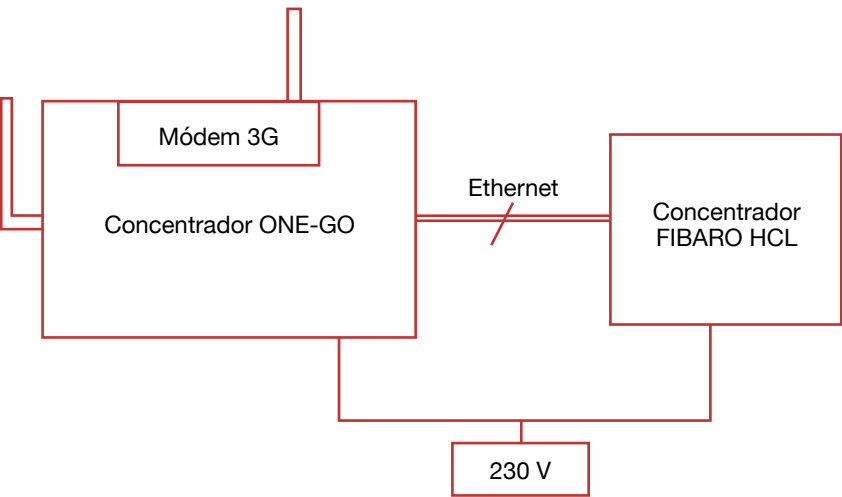
Fibaro HCL

Este equipo gestiona y almacena las medidas de consumo dadas en cada toma eléctrica con *wall plug*.

El dispositivo requiere alimentación 230 V y conexión con cable Ethernet hacia el concentrador ONE-GO.

Interconexiones

En el siguiente esquema se muestra una imagen de la interconexión entre los citados dispositivos. Es necesario un punto de alimentación estable, ya que en caso de fallo de alimentación el sistema no podrá disponer de los datos monitorizados.



Esquema de interconexión entre concentradores

Consumo eléctrico de la vivienda

Instalación

Se instalará un medidor de consumo (Carlo Gavazzi EM21) para monitorizar el consumo eléctrico de la vivienda. El medidor se instala en el cuadro eléctrico principal. Para ello:

- Se interrumpirá el suministro eléctrico de la vivienda.
- Sobre el cuadro principal se instalará el medidor de consumo en los cables de tensión de entrada al cuadro.
- Así mismo, en la línea elegida se instalará la pinza amperimétrica que habrá que conectar el medidor de consumo en los pines indicados.
- Si es posible, se colocará el terminal inalámbrico en el mismo cuadro eléctrico. En este caso, no realizar los puntos 5 y 6, y conectar los tres cables del bus al terminal inalámbrico.
- Del medidor de consumo hacia fuera del cuadro se deben sacar tres cables (bus MODBUS-RTU) que irán conectados al nodo inalámbrico.
- Colocar el nodo inalámbrico tras conectar los cables que se han sacado desde el cuadro, procedentes del medidor de consumo.
- Una vez instalado, reactivar el suministro eléctrico.

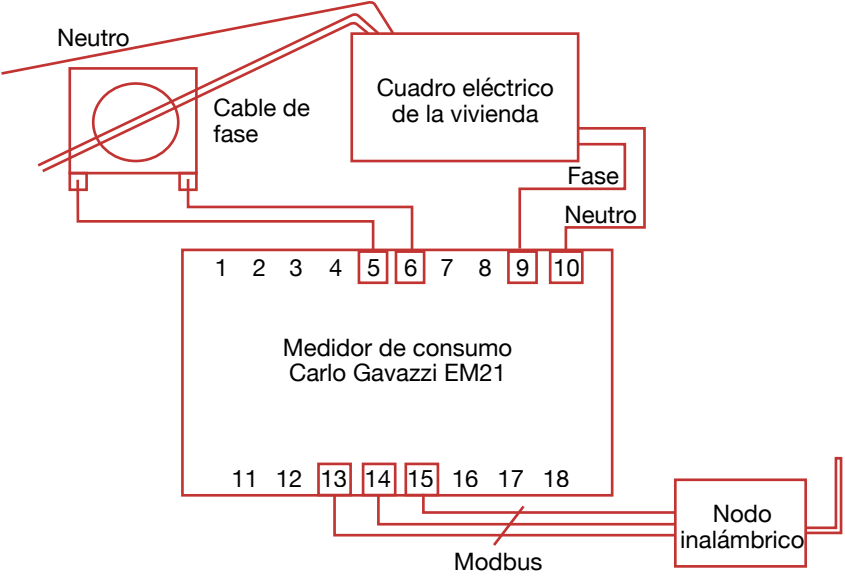
Las variables a monitorizar del medidor de consumo serán:

- Energía activa (kWh).
- Energía reactiva (Kvarh).
- Potencia activa (W).
- Potencia reactiva (VAr).
- Corriente (A).

Esquema de conexiones:

Precauciones

- Cumplir los pasos para su instalación descritos en el apartado anterior.
- No abrir (ni manipular) el dispositivo inalámbrico para la correcta monitorización de las magnitudes eléctricas.



Esquema de conexión medidor

Consumo de tomas eléctricas seleccionadas

Instalación

Para monitorizar el consumo de dos de las tomas eléctricas por vivienda se utilizarán los *wall plug* de Fibaro. Los pasos a seguir para la instalación son:

- Enchufar el *wall plug* a la toma deseada.
- Pulsar tres veces el botón del *wall plug* y confirmar la asociación en el Fibaro HCL.
- Enchufar al *wall plug* el electrodoméstico o regleta eléctrica que se desea monitorizar.

Estos dispositivos *wall plug* presentan un alcance en torno a 50-70 metros en interior de la vivienda (con respecto al concentrador Fibaro HCL).

Precauciones

- No retirar el dispositivo *wall plug* de la toma eléctrica para su correcta monitorización.
- El dispositivo presenta un botón para activación/desactivación del enchufe.
- El *wall plug* es capaz de proporcionar alimentación siempre que la potencia no supere los 2500 W.



Medidor wall plug

Sensores de temperatura y CO₂

Instalación

Los nodos medidores de temperatura y humedad y los de CO₂ son dispositivos alimentados por batería, lo que permite una gran facilidad a la hora de su instalación, ya que no necesitan suministro de corriente de la red eléctrica. Los nodos inalámbricos se han adaptado para una posible colocación en carril DIN.

Estos sensores se instalarán en la pared de la habitación seleccionada para su monitorización siguiendo los pasos descritos:

- Atornillar el trozo de carril DIN a la pared.
- Encajar el nodo al carril DIN.
- Encenderlo.

Precauciones

No abrir (ni manipular) el dispositivo para la correcta monitorización de la variable medioambiental.

Autonomía de los equipos:

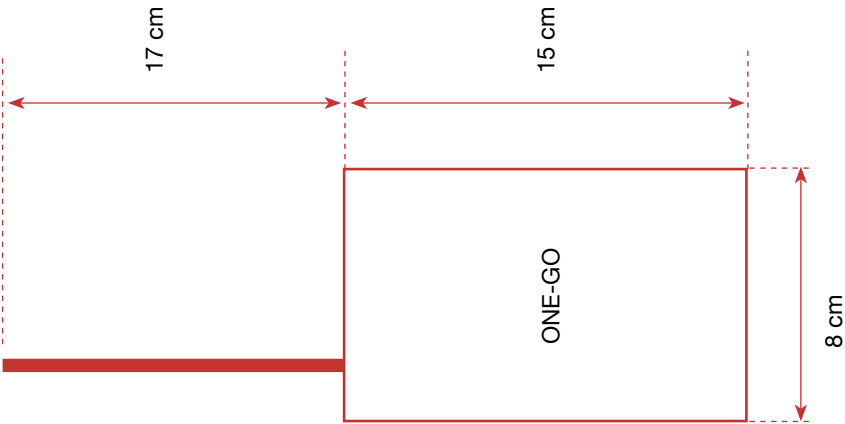
El sensor de temperatura y humedad tiene una autonomía mayor a un año. El sensor de CO₂ presenta una autonomía de 3 meses, por lo que se habrá de acceder posteriormente para realizar un cambio de baterías.

Dimensiones de los equipos

En el siguiente esquema se indican las dimensiones de los terminales inalámbricos a instalar en los diferentes sistemas.



A la izquierda, medidor de temperatura + humedad; a la derecha, medidor de CO₂



Medidas de los terminales inalámbricos

Instalación en las viviendas

En un primer momento, el proyecto solicitaba instalar los sistemas de monitorización en viviendas claramente diferenciadas, es decir, en viviendas de edificios altos (más de seis plantas) y en viviendas en bloques lineales (de una a cuatro plantas). Finalmente, no se encontraron propietarios que quisieran colaborar con el desarrollo del proyecto, por lo que no se ha podido realizar una selección de viviendas para elegir las más interesantes con respecto a su ubicación.

El sistema de monitorización se ha instalado en dos viviendas ubicadas en distintos edificios de similares características, aunque ambas se encuentran a diferentes alturas. La vivienda 1, ubicada en una cuarta planta; y la vivienda 2, ubicada en una primera planta.

En cada vivienda se han seleccionado las habitaciones de mayor uso (dependiendo de cada vivienda, el número de personas que habita en ella, etc.) para el despliegue de cada sensor. Así, lo más común ha sido el salón y el dormitorio principal; y como ubicaciones auxiliares, el dormitorio secundario y la cocina o trastero.

A continuación se describen con detalle los dispositivos instalados en cada vivienda, los datos obtenidos y el histórico de actuaciones.

Vivienda 1

Dispositivos instalados

En esta vivienda se han instalado los siguientes equipos:

- 1 equipo para lectura del consumo eléctrico
- 4 sensores de temperatura y humedad
- 2 sensores de CO₂

Lista de equipos instalados:

Tipo de dispositivo	Ubicación del dispositivo en la vivienda
[HX0-CE-C8G-A026] Concentrador	Salón
[OG2-TE-C8G-A433] Sensor de temperatura y humedad relativa	Dormitorio 2 pequeño
[OG2-TE-C8G-A457] Sensor de temperatura y humedad relativa	Salón

Lista de dispositivos instalados en vivienda 1

Tipo de dispositivo	Ubicación del dispositivo en la vivienda
[OG2-TE-C8G-A456] Sensor de temperatura y humedad relativa	Dormitorio 1 principal
[OG2-TE-C8G-A475] Sensor de temperatura y humedad relativa	Estar-comedor
[OG2-TE-C8G-A511] Sensor de CO ₂	Dormitorio 1 principal
[OG2-TE-C8G-A512] Sensor de CO ₂	Estar-comedor
[OG2-TE-C8G-A420] Medidor de consumo eléctrico de la vivienda	Registro eléctrico de entrada a la vivienda

Algunas fotos de la instalación de dichos equipos:

Fotos de la instalación en vivienda 1



Histórico de actuaciones

En la siguiente tabla se indica el histórico de actuaciones (visitas) realizadas a la vivienda:

Fecha	Descripción
13-12-2017	Instalación del sistema de monitorización en la vivienda
09-04-2018	Revisión del equipo de lectura del consumo eléctrico y de los terminales de CO ₂
23-07-2018	Desinstalación del sistema de monitorización

Histórico de actuaciones en vivienda 1

Vivienda 2

Dispositivos instalados

En esta vivienda se han instalado los siguientes equipos:

- 4 sensores de temperatura y humedad
- 2 sensores de CO₂

Tipo de dispositivo	Ubicación del dispositivo en la vivienda
[HX0-CE-C8G-A027] Concentrador	Trastero
[OG2-TE-C8G-A469] Sensor de temperatura y humedad relativa	Salón
[OG2-TE-C8G-A473] Sensor de temperatura y humedad relativa	Cocina
[OG2-TE-C8G-A514] Sensor de temperatura y humedad relativa	Estudio
[OG2-TE-C8G-A428] Sensor de temperatura y humedad relativa	Trastero
[OG2-TE-C8G-A476] Sensor de CO ₂	Salón
[OG2-TE-C8G-A502] Sensor de CO ₂	Estudio
[OG2-TE-C8G-A420] Medidor de consumo eléctrico de la vivienda	No instalado a petición del propietario de la vivienda

Lista de dispositivos instalados en vivienda 2

Histórico de actuaciones

En la siguiente tabla se indica el histórico de actuaciones (visitas) realizadas a la vivienda:

Fecha	Descripción
12-06-2018	Instalación del sistema de monitorización en la vivienda. El equipo de lectura del consumo eléctrico no se instala por petición del propietario

Histórico de actuaciones en vivienda 2

Resultados

Después de obtener los datos recogidos por los dispositivos en ambas viviendas, se han sintetizado los resultados. Para la humedad relativa y la temperatura, tenemos en cuenta los márgenes recomendables definidos en el apartado correspondiente de este documento. En cuanto al nivel de CO₂ y el consumo energético, se han estudiado las gráficas obtenidas en cuanto a la aparición de picos significativos que puedan sugerir una anomalía en el comportamiento o el uso de la edificación. Se obtienen los resultados que se indican a continuación:

Vivienda 1

Dormitorio 1

Nivel de CO₂ (ppm): Mantiene un nivel estable, con algunos picos aislados, particularmente a finales de febrero.
Temperatura (° C): Se mantiene dentro de los estándares indicados durante pocos días al año. En general, son peores los resultados en los meses estivales.
Humedad relativa (%): Por lo general es mayor a la admisible, salvo a partir del mediados del mes de junio.

Dormitorio 2

Temperatura (° C): Por lo general, fuera de los límites marcados, especialmente distante durante los meses de junio y julio.
Humedad relativa (%): Por lo general es mayor a la admisible, salvo a partir del mediados del mes de junio.

Estar-comedor

Nivel de CO₂ (ppm): Presenta valores estables durante casi todo el período de medición, con aparición de algunos picos puntuales (a finales de mayo y principios de junio).
Temperatura (° C): Oscilación anual con pocos días dentro de los límites marcados, y especialmente distante en los meses de verano.
Humedad relativa (%): Dentro de los parámetros marcados como admisibles durante la práctica totalidad del tiempo de medición.

Salón

Temperatura (° C): Oscilación anual con pocos días dentro de los límites marcados, y especialmente alta en los meses de junio y julio.
Humedad relativa (%): Dentro de los parámetros marcados como admisibles durante la práctica totalidad del tiempo de medición.

Consumo vivienda

Energía activa (kWh): Ascendente, sin cambios reseñables, durante todo el tiempo de medición.
Corriente instantánea (A): Aparecen picos puntuales en primavera y verano, sin un patrón aparente relacionado con la estacionalidad o las temperaturas medidas.

Vivienda 2

Cocina

Temperatura (° C): Por lo general, superior a los límites establecidos al comienzo de este capítulo, con momentos especialmente elevados. Únicamente dentro de los parámetros durante el mes de noviembre.
Humedad relativa (%): Generalmente dentro del tramo establecido durante todo el tiempo de medición, con picos puntuales tanto positivos (en invierno) como negativos (en verano).

Estudio

Nivel de CO₂ (ppm): Por lo general, estable, con algunos picos puntuales (a finales de junio) sin un patrón temporal aparente.
Temperatura (° C): Durante la práctica totalidad del tiempo de medición supera los límites previamente establecidos, con excepción del mes de noviembre.
Humedad relativa (%): Generalmente dentro del tramo admisible, con aparición de varios picos por debajo del límite inferior.

Trastero

Temperatura (° C): Por lo general, superior a los tramos establecidos y especialmente alta en relación con otras estancias de ambas viviendas medidas.
Humedad relativa (%): Durante la práctica totalidad del tiempo de medición, dentro de los límites admisibles, con algunos picos inferiores en los meses otoñales.

Salón

Nivel de CO₂ (ppm): Por lo general, se mantiene en un nivel estable, aunque aparecen algunos picos altos puntualmente (a final del mes de junio).
Temperatura (° C): Durante la práctica totalidad de año es superior a los límites establecidos, especialmente en los meses estivales.
Humedad relativa (%): Generalmente dentro del tramo considerado admisible, con la aparición de algunos picos inferiores en los meses de agosto y octubre.

Conclusiones

En cuanto al nivel de CO₂ (ppm), los resultados son, en la práctica totalidad de las habitaciones y durante todo el tiempo de medición, estables en ambas viviendas. Aparecen picos puntuales positivos que no tienen una pauta temporal o estacional clara, por lo que pueden deberse a cambios ocasionales en el uso de las estancias en las que se encuentran los medidores.

Por lo que respecta a la temperatura (° C), los datos obtenidos están, por lo general, fuera de los parámetros de confort establecidos al comienzo de este capítulo. En este caso, ambas viviendas presentan algunas diferencias. En la vivienda 1, los dormitorios se comportan, por lo general, peor que el salón y el estar-comedor, con tramos temporales con temperatura tanto inferior a la recomendable (en los meses invernales) como superior (en los meses estivales). En la vivienda 2, sin embargo, los valores son, por lo general, superiores a los admisibles durante la práctica totalidad del tiempo medido, salvo en los meses especialmente fríos del invierno.

La humedad relativa (%), por otra parte, presenta resultados generalmente dentro del tramo admisible más tolerante (entre el 40 y el 70 %), con algunas excepciones. En la vivienda 1, los dormitorios tienen un porcentaje de humedad mayor al admisible en casi todas las temporadas, salvo en los meses de verano, mientras que el salón y el estar-comedor se comportan adecuadamente en este caso. En la vivienda 2, los valores están dentro de lo tolerable durante casi todo el tiempo de medición, salvo la aparición de algunos picos puntuales, por lo general, inferiores a lo indicado.

Por último, en cuanto al gasto energético, no se obtienen conclusiones significativas, al haber podido medirse solamente en una de las viviendas y no haberse detectado oscilaciones con un patrón temporal o estacional.

