



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TRABAJO DE FINAL DE GRADO

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO/ACÚSTICO EN  
VIVIENDAS VULNERABLES EN EL BARRIO DEL RAVAL  
(BARCELONA).**



**Memoria y Anexos**

**Autor/a:** Nil MOREU BARRA  
**Director/a:** Alfredo GUARDO ZABALETA  
**Convocatoria:** Enero 2021



## Resumen

Este proyecto nace de la colaboración con la asociación Oasiurbà, una entidad sin ánimo de lucro que trabaja para mejorar las condiciones de vida de la vecindad garantizando el derecho a una vivienda digna.

El principal objetivo de este trabajo es instalar una serie de sensores para poder determinar las condiciones térmicas, acústicas y la calidad del aire de diferentes pisos de la zona del Raval, en Barcelona. Para ello se han utilizado termohigrómetros, sensores de calidad de aire, registradores de temperatura de 3 canales, sonómetros y sensores de flujo de calor.

Con estos sensores hemos podido obtener la temperatura en el interior de diferentes habitaciones en cada piso, la humedad relativa, la concentración de CO<sub>2</sub>, los niveles de ruido y el flujo de calor en la pared que da al interior para cada piso estudiado. A partir de estos datos medidos y los datos en el exterior que nos proporciona el servicio meteorológico de Cataluña, también hemos podido determinar la temperatura de bulbo húmedo, la sensación térmica en el interior del piso y la resistencia térmica de las paredes exteriores.

## Resum

Aquest projecte neix de la col·laboració amb l'associació Oasiurbà, una entitat sense ànim de lucre que treballa per millorar les condicions de vida del veïnat garantint el dret a un habitatge digne.

El principal objectiu d'aquest treball és instal·lar una sèrie de sensors per poder determinar les condicions tèrmiques, acústiques i la qualitat de l'aire de diferents pisos de la zona del Raval, a Barcelona. Per a això s'han utilitzat termohigròmetres, sensors de qualitat de l'aire, registradors de temperatura de 3 canals, sonòmetres i sensors de flux de calor.

Amb aquests sensors hem pogut obtenir la temperatura a l'interior de diferents habitacions a cada pis, la humitat relativa, la concentració de CO<sub>2</sub>, els nivells de soroll i el flux de calor a la paret que dona a l'interior per a cada pis estudiat. A partir d'aquestes dades mesurades i les dades a l'exterior que ens proporciona el servei meteorològic de Catalunya, també hem pogut determinar la temperatura de bulb humit, la sensació tèrmica a l'interior de l'estança i la resistència tèrmica de les parets exteriors.

## **Abstract**

This project was born from the collaboration with the Oasiurbà association, a non-profit organization that works to improve the living conditions of the neighborhood by guaranteeing the right to decent housing.

The main objective of this work is to install a series of sensors to be able to determine the thermal, acoustic and air quality conditions of different floors in the Raval area, in Barcelona. Thermohygrometers, air quality sensors, 3-channel temperature recorders, sound level meters and heat flow sensors have been used for this. With these sensors we have been able to obtain the temperature inside different rooms on each flat, the relative humidity, the CO2 concentration, the noise levels and the heat flux on the wall that faces the interior for each flat studied. From these measured data and the outdoor data provided by the meteorological service from Catalonia, we have also been able to determine the wet-bulb temperature, the thermal sensation inside the flat and the thermal resistance of the exterior walls.



## **Agradecimientos**

Agradecer a Alfredo GUARDO ZABALETA, tutor del trabajo, su entrega y dedicación durante todas estas semanas de trabajo y por brindarme la oportunidad de poder realizar este proyecto. Gracias a su dedicación ha sido posible realizar este trabajo.

También agradecer a la asociación Oasiurbà su colaboración y depositar su confianza en este proyecto, gracias al excelente equipo del que disponen, se han podido realizar todas las tareas con facilidad. Es un equipo dispuesto a ayudar a quien lo necesite.

También agradecer a las entidades colaboradoras del proyecto REEhanilitant el Raval: el Centre de Cooperació per al Desenvolupament de la UPC (UPC-CCD), el Col·legi d'Arquitectes de Catalunya (COAC), y el Ayuntamiento de Barcelona por sus aportaciones económicas, ya que han sido indispensables para tirar hacia delante este proyecto.





# Índice

<b>RESUMEN</b>	<b>I</b>
<b>RESUM</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>V</b>
<b>1. PREFACIO</b>	<b>1</b>
1.1. Origen del trabajo .....	1
1.2. Motivación .....	1
1.3. Requerimientos previos.....	2
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
2.1. Objetivos del trabajo.....	3
2.2. Alcance y limitaciones del trabajo .....	3
<b>3. MARCO TEÓRICO</b>	<b>5</b>
3.1. Pobreza energética en el Raval.....	5
3.2. Clima en Barcelona .....	7
3.3. Transferencia de calor .....	9
3.3.1. Conducción .....	10
3.3.2. Convección .....	11
3.3.3. Radiación .....	12
3.3.4. Transferencia de calor a través de paredes y techos.....	13
3.3.5. Transferencia de calor a través de ventanas .....	14
3.4. Temperatura .....	16
3.4.1. Temperatura de bulbo seco .....	16
3.4.2. Temperatura de bulbo húmedo.....	16
3.4.3. Sensación térmica .....	19
3.5. Inercia térmica .....	20
3.6. Contaminación acústica.....	21
<b>4. METODOLOGÍA</b>	<b>24</b>
4.1. Aparatos de medición.....	24
4.1.1. Termohigrómetro.....	24
4.1.2. Termómetro Registrador de 3 Canales .....	27

4.1.3.	Monitor de calidad de aire.....	29
4.1.4.	Sonómetro .....	31
4.1.5.	Sensor de flujo de calor .....	33
4.2.	Pisos medidos .....	34
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>41</b>
5.1.	Marquès de Barberà 2.....	42
5.1.1.	Verano.....	42
5.1.2.	Invierno .....	47
5.2.	Carretes 48.....	52
5.2.1.	Verano.....	52
5.3.	Elisabets 3 .....	56
5.3.1.	Verano.....	56
5.3.2.	Invierno .....	59
5.4.	Sant Vicenç 28.....	65
5.4.1.	Verano.....	65
5.5.	Junta de Comerç 14 .....	68
5.5.1.	Verano.....	68
5.6.	Sant Ramon 2 - 1.....	73
5.6.1.	Verano.....	73
5.7.	Sant Ramon 2 – 2.....	78
5.7.1.	Verano.....	78
5.8.	Sant Erasme 7 .....	83
5.8.1.	Inierno .....	83
<b>6.</b>	<b>ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL</b> .....	<b>88</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>89</b>
<b>8.</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO</b> .....	<b>91</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>93</b>
	<b>ANEXO A: NORMATIVA CONSULTADA</b> .....	<b>95</b>

# 1. Prefacio

## 1.1. Origen del trabajo

Este proyecto se ha realizado en colaboración con la asociación Oasiurbà, que es una entidad sin ánimo de lucro que trabaja para mejorar las condiciones de vida de la vecindad garantizando el derecho a una vivienda digna. Esta asociación está compuesta por un equipo multidisciplinar de arquitectura, ingeniería, derecho y trabajo social que ofrece servicios inmobiliarios éticos a un precio razonable para evitar que nadie se quede sin la asistencia legal que necesite o tenga que vivir en condiciones indignas en sus hogares. Esta asociación trabaja concretamente en el barrio del Raval, el barrio con mayor concentración de pobreza en toda la zona urbana de Barcelona, y con un gran número de edificios de construcción antigua y de mala calidad.

En este trabajo pertenece concretamente con el estudio REE\_HABILITANT, que pretende mejorar las condiciones de bienestar y confort térmico y consumo energético proporcionando soluciones con un coste menor al habitual, de aplicación sencilla y rápida.

Para hacer este proyecto posible, se ha contado con la financiación, tanto en recursos económicos como humanos, del Centro de Cooperación por el desarrollo de la UPC (CCD UPC), el ayuntamiento de Barcelona, y la Asociación Oasiurbà.

## 1.2. Motivación

A raíz de mi interés en realizar el trabajo final de grado, un compañero que también ha trabajado en el proyecto de REE-HABILITANT con la asociación Oasiurbà, me puso en contacto con el profesor Alfredo GUARDO ZABALETA, director del presente trabajo, quien me propuso participar con este equipo.

Con este proyecto, he podido observar de primera mano las malas condiciones en las que pueden vivir algunas personas del barrio del Raval y la falta de recursos para poder hacer frente a una mejora, lo que me ha motivado a implicarme en este trabajo, ya que considero que participar en este estudio es una gran oportunidad, no solo para desarrollarme académicamente, sino que también para poder ayudar y mejorar la calidad de vida de estas personas.

### 1.3. Requerimientos previos

Para poder realizar este trabajo, ha sido imprescindible un estudio del funcionamiento de los diferentes aparatos que se van a emplear en las viviendas a estudiar antes de su instalación. Para ello es altamente recomendable leerse los manuales de instrucción y ponerlos a prueba en un lugar donde se puedan empezar y detener las mediciones para poder comprobar que realmente ya se tiene un conocimiento básico de cómo utilizar dichos sensores.

En la gran mayoría de los sensores que se han utilizado, también es indispensable descargarse el software correspondiente a cada uno de ellos para poder configurar la fecha y hora, poder leer las mediciones, o configurar los requisitos de medición, como puede ser el intervalo de tiempo entre mediciones o las unidades.

Otro factor a tener en cuenta, es tener unos conocimientos básicos de Excel, ya que todos los datos que se obtienen con los aparatos, se leen mediante dicho programa y se utilizará para poder graficar estos datos para que sea posible representarlos fácilmente.

Lo que conlleva a la parte del cálculo de la temperatura de Bulbo y poder interpretar o comprender los valores y la relación que tienen con las paredes, es beneficioso tener los conocimientos de termodinámica y transferencia de calor para saber cómo afecta los aislantes de las paredes.

Finalmente, para poder llevar a cabo todo este trabajo, ha sido imprescindible la participación de diferentes viviendas de este barrio para poder realizar el estudio.

## **2. Introducción**

Para el correcto análisis del confort térmico y acústico de una vivienda, es necesario conocer el estado actual para poder encontrar en que aspectos debe mejorar y poder proponer posibles soluciones. Es por ello que en este trabajo nos hemos propuesto medir las diferentes viviendas para en un futuro poder usar estos datos para realizar dicho análisis.

### **2.1. Objetivos del trabajo**

El principal objetivo de este proyecto es conocer las condiciones térmicas, acústicas y la calidad de aire de diferentes pisos en riesgo de exclusión social o pobreza energética para en un futuro poder analizar qué aspectos se deben mejorar y proponer soluciones de bajo coste, de aplicación sencilla y rápida, que mejoren las condiciones de confort de las personas que habitan en estas viviendas. Para ello, se han propuesto unos objetivos específicos que nos puedan ayudar a conocer las condiciones de confort del piso

Los objetivos específicos son medir la temperatura de bulbo seco y humedad de diferentes habitaciones de la vivienda, conocer la concentración de CO<sub>2</sub> en la sala principal de la vivienda, obtener la temperatura superficial de las paredes y/o techo, calcular el flujo de calor de una pared exterior, y saber el nivel de ruido procedente del exterior. Con estos datos que nos proponemos medir, se usarán también para conocer la temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica.

Para poder obtener unos datos más fiables, la idea principal ha sido hacer la instalación de los sensores dos veces en el mismo piso, la primera vez en las estación de verano, y la segunda vez en la estación de invierno, ya que las condiciones térmicas pueden variar mucho dependiendo de la época del año y las condiciones meteorológicas en las que se encuentra el edificio en el tiempo de recogida de datos.

### **2.2. Alcance y limitaciones del trabajo**

Para poder desarrollar este estudio, se necesitan principalmente dos cosas, diferentes aparatos de medición para poder obtener los datos que nos proponíamos conocer y pisos del barrio del Raval dispuestos a colaborar con el proyecto.

El alcance del proyecto es estudiar viviendas vulnerables que tengan dificultades para poder aclimatarlas y poder mantenerlas con un confort térmico adecuado para vivir debido a la mala calidad de materiales o por un mal aislamiento.

El primer paso consiste en contactar, mediante la asociación Oasiurbà, con vecinos del barrio del Raval que estuvieran dispuestos a participar en este estudio concediéndonos permiso para ir a instalar los medidores en sus viviendas y explicarles en qué consiste el proyecto, que tipo de sensores se instalará y sus finalidades. Una vez ya se tiene un piso disponible para instalar los sensores, se tienen que concretar un día y una hora para instalarlos.

Para poder medir la temperatura ambiental y humedad relativa, se han utilizado un máximo de tres termohigómetros por piso. Estos se han instalado en diferentes habitaciones y de diferentes características para poder tener diferentes casos. Los termohigómetros utilizados han sido los de la marca Elitech, concretamente el modelo RC-4HC.

Otro aparato utilizado ha sido un monitor de calidad de aire que mide la concentración de CO<sub>2</sub> y adicionalmente, la temperatura ambiental y la humedad relativa. En este proyecto solo se ha dispuesto de un monitor de estas características por piso, por lo que se ha colocado en las habitaciones más concurrentes de la vivienda, normalmente en el salón.

En el caso de la medición de la temperatura de las paredes y techos, se ha utilizado un termómetro registrador de 3 canales que mide la temperatura de hasta tres superficies mediante termopares de tipo k.

En el caso del ruido, se ha decidido utilizar un sonómetro que se instalará delante de una ventana o balcón que dé al exterior para medir los niveles de ruidos que se perciben en esa habitación.

Finalmente, también se instalará un sensor de flujo de calor en una pared que limite con el exterior para conocer la energía que fluye por unidad de tiempo.

## **3. Marco teórico**

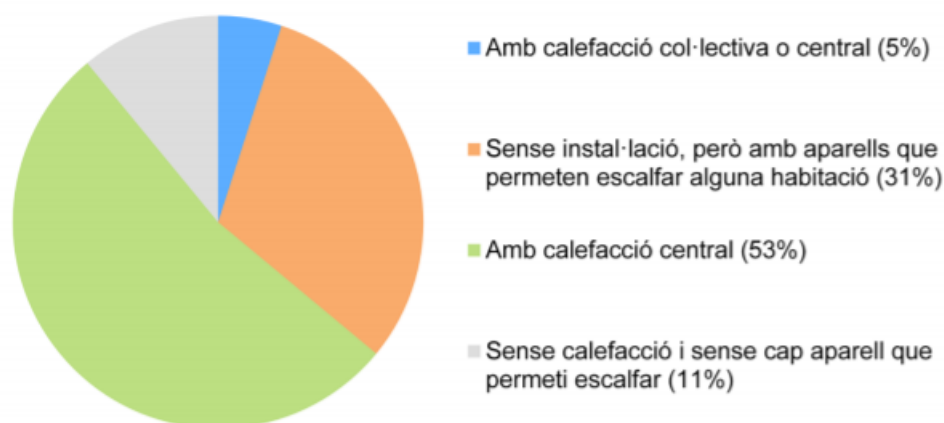
### **3.1. Pobreza energética en el Raval**

Según la Asociación de Ciencias Ambientales (1) la pobreza energética se da cuando una persona o una familia no pueden satisfacer sus necesidades básicas de energía, ya sea porque se encuentran en una situación en la que son incapaces de pagar una cantidad de energía suficiente para satisfacer sus necesidades domésticas o cuando se ve obligado a pagar una cantidad excesiva de sus ingresos. Las causas que generan esta precariedad energética son fundamentalmente por unos bajos ingresos del hogar, una calidad insuficiente de la vivienda o por unos precios elevados de energía.

La pobreza energética es una forma distinta de pobreza asociada con una variedad de consecuencias adversas para la salud y el bienestar de las personas, con enfermedades respiratorias y cardíacas, y salud mental, agravada por las bajas temperaturas y el estrés asociado con facturas de energía inasequibles. De hecho, la pobreza energética tiene un efecto indirecto en muchas áreas políticas, incluidas la salud, el medio ambiente y la productividad.

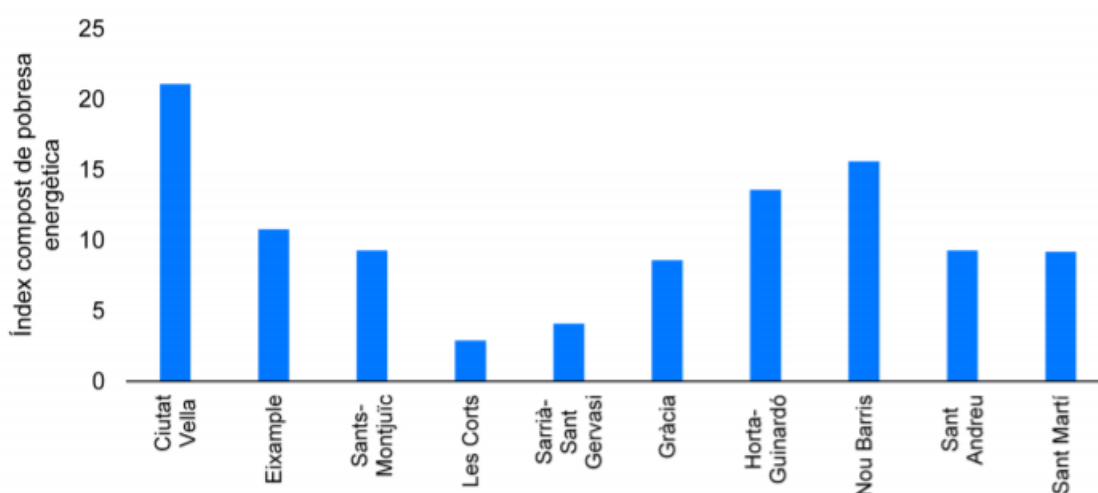
La pobreza energética es un fenómeno urbano en la medida en que la gran densidad y complejidad sociodemográfica de las ciudades da, como resultado, una concentración de casos de hogares que tienen dificultades para garantizar una cantidad de servicios de la energía doméstica adecuada. Se puede hablar de factores específicamente urbanos de diferente signo que influyen en la extensión y en las características de la pobreza energética. Uno de estos factores puede ser el precio de la vivienda más elevado, o por su forma de construcción en la que se obliga a llegar a acuerdos entre copropietarios y que se puede complicar en presencia de viviendas de alquiler, muy habituales en las zonas urbanas.

Como se puede ver en el siguiente diagrama obtenido por el ayuntamiento de Barcelona (2), un estudio realizado en 2017 por PAPE (Puntos de atención a la pobreza energética) indica que en Barcelona un 11% de las viviendas no disponen de ningún aparato que permita calentar el hogar, y un 31% no dispone de una instalación de calefacción.



**Figura 3.1.** Sistema de calefacció en las viviendas de Barcelona (Fuente: Luxán García de Diedo et al., 2017)

El barrio donde nosotras haremos el estudio es el Raval, en el distrito de Ciutat Vella, ya que según la Encuesta de Salud Pública de Barcelona (ESPB), es el distrito con un índice compuesto de pobreza energética cinco veces mayor que el distrito menos afectado (Les Corts). Este índice se construye a partir de tres indicadores principales del enfoque de percepción de declaraciones de viviendas (Incapacidad de mantener la vivienda a una temperatura adecuada, retraso en el pago de las facturas y presencia de goteras, humedades o moho en la vivienda)



**Figura 3.2.** Intensidad de pobreza energética por distritos de Barcelona (2016) de acuerdo con el índice compuesto de la Agencia de Salud Pública de Barcelona (ASPB)



### 3.2. Clima en Barcelona

El confort térmico de una vivienda, puede estar relacionado por el clima exterior, dependiendo del gasto de energía que se genera para mantener una temperatura adecuada en la vivienda y del tipo de aislante que tienen las paredes y techo.

Entendemos por confort térmico cuando las personas que lo habitan no experimentan sensación de calor ni frío, o, dicho de otro modo, cuando las condiciones de humedad, temperatura y movimiento de aire son agradables y adecuadas a la actividad que se realiza en su interior.

Con el programa "Climate Consultant" (4) podemos observar varias condiciones que definen el confort térmico con el criterio métrico. Entre estas condiciones podemos observar las temperaturas máxima y mínima de bulbo seco, la máxima humedad relativa medida para un confort térmico mínimo o la temperatura máxima de bulbo húmedo entre otras. Estas condiciones se muestran en la siguiente imagen.

Climate Consultant 6.0 (Build 16, Jan 23, 2020)

File Criteria Charts Help

**CRITERIA: (Metric Units)**

**LOCATION: BARCELONA, -, ESP**  
**Latitude/Longitude:** 41.28° North, 2.07° East, **Time Zone from Greenwich 1**  
**Data Source:** IVEC Data 081810 WMO Station Number, **Elevation 6 m**

**California Energy Code Comfort Model, 2013 (select Help for definitions)**

**1. COMFORT: (using California Energy Code Model)**

- 20.0 Comfort Low - Min. Comfort Dry Bulb Temp (°C)
- 23.9 Comfort High - Max. Comfort Dry Bulb Temp, up to 50% RH (°C)
- 80.0 Max. Relative Humidity (measured at Min. Comfort Temp) (%)
- 18.9 Max. Wet Bulb Temperature (°C)
- 2.8 Min. Dew Point Temperature (°C)

**2. SUN SHADING ZONE: (Defaults to Comfort Low)**

- 20.0 Min. Dry Bulb Temperature when Need for Shading Begins (°C)
- 315.5 Min. Global Horiz. Radiation when Need for Shading Begins (Wh/sq.m)

**3. HIGH THERMAL MASS ZONE:**

- 8.3 Max. Outdoor Temperature Difference above Comfort High (°C)
- 1.7 Min. Nighttime Temperature Difference below Comfort High (°C)

**4. HIGH THERMAL MASS WITH NIGHT FLUSHING ZONE:**

- 16.7 Max. Outdoor Temperature Difference above Comfort High (°C)
- 1.7 Min. Nighttime Temperature Difference below Comfort High (°C)

**5. DIRECT EVAPORATIVE COOLING ZONE: (Defined by Comfort Zone)**

- 18.9 Max. Wet Bulb set by Max. Comfort Zone Wet Bulb (°C)
- 9.3 Min. Wet Bulb set by Min. Comfort Zone Wet Bulb (°C)

**6. TWO-STAGE EVAPORATIVE COOLING ZONE:**

- 50.0 % Efficiency of Indirect Stage

**7. NATURAL VENTILATION COOLING ZONE:**

- 2.0 Terrain Category to modify Wind Speed (2=suburban)
- 0.2 Min. Indoor Velocity to Effect Indoor Comfort (m/s)
- 1.5 Max. Comfortable Velocity (per ASHRAE Std. 55) (m/s)
- 3.6 Max. Perceived Temperature Reduction (°C)
- 90.0 Max. Relative Humidity (%)
- 22.8 Max. Wet Bulb Temperature (°C)

**8. FAN-FORCED VENTILATION COOLING ZONE:**

- 0.8 Max. Mechanical Ventilation Velocity (m/s)
- 3.0 Max. Perceived Temperature Reduction (°C)  
(Min Vel, Max RH, Max WB match Natural Ventilation)

**9. INTERNAL HEAT GAIN ZONE (lights, people, equipment):**

- 12.8 Balance Point Temperature below which Heating is Needed (°C)

**10. PASSIVE SOLAR DIRECT GAIN LOW MASS ZONE:**

- 157.7 Min. South Window Radiation for 5.56°C Temperature Rise (Wh/sq.m)
- 3.0 Thermal Time Lag for Low Mass Buildings (hours)

**11. PASSIVE SOLAR DIRECT GAIN HIGH MASS ZONE:**

- 157.7 Min. South Window Radiation for 5.56°C Temperature Rise (Wh/sq.m)
- 12.0 Thermal Time Lag for High Mass Buildings (hours)

**12. WIND PROTECTION OF OUTDOOR SPACES:**

- 8.5 Velocity above which Wind Protection is Desirable (m/s)
- 11.1 Dry Bulb Temperature Above or Below Comfort Zone (°C)

**13. HUMIDIFICATION ZONE: (defined by and below Comfort Zone)**

**14. DEHUMIDIFICATION ZONE: (defined by and above Comfort Zone)**

Restore Default Values Recalculate Back Next

Figura 3.3. Criterios en unidades métricas del confort térmico (Fuente: EnergyPlus (3))

En la siguiente figura (figura 3.4) se muestran los valores de Barcelona de temperatura de bulbo seco (color rojo) y temperatura de bulbo húmedo (color granate). También se representa la zona de confort mediante una banda de color gris (entre 20 a 23,9 °C). En la banda de color azul aparecen los valores horarios de temperatura de bulbo seco para todos los meses. Respecto a la radiación solar aparecen los valores de radiación solar directa (amarillo) y radiación solar difusa (azul), así como el valor de radiación solar global, resultante de la suma de las dos anteriores.

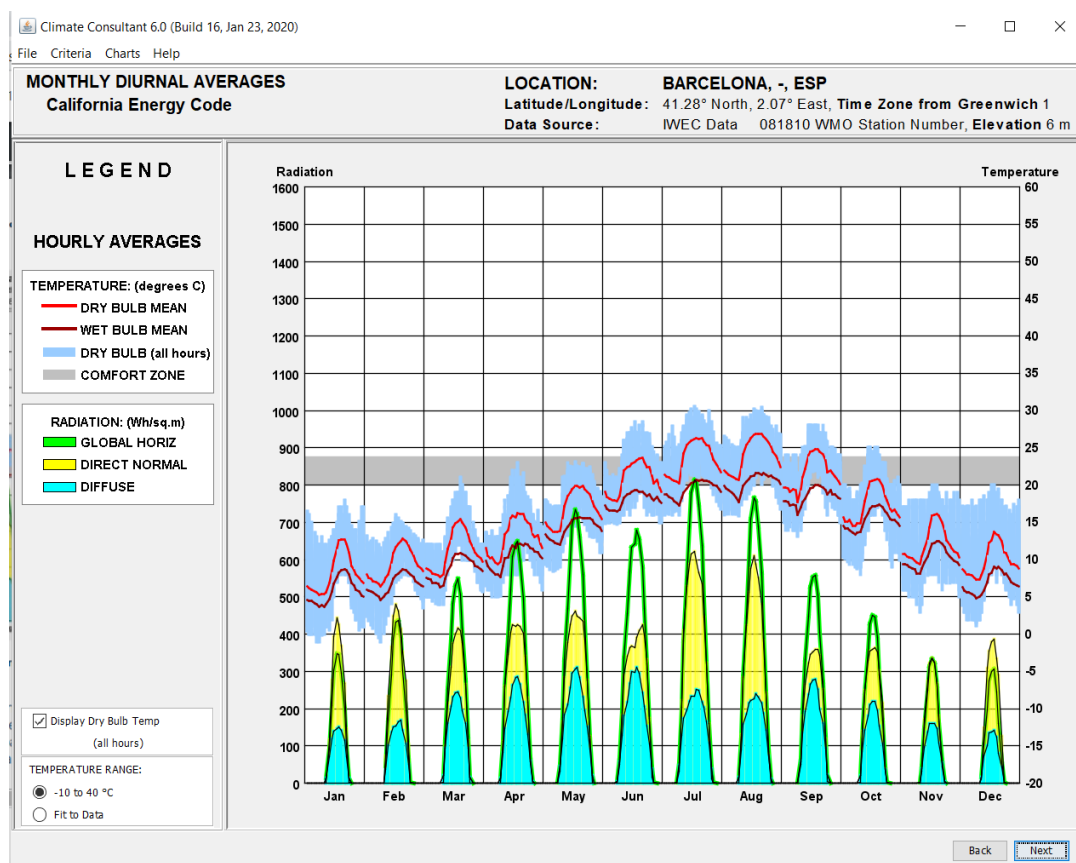


Figura 3.4. Valores medios mensuales de Barcelona. (Fuente: EnergyPlus (3))

Como se puede observar, solo en los meses de Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre, la temperatura alcanza los valores de confort térmico, incluso llegando a superarlo en las horas más calurosas. En cambio, el resto del año, esta temperatura no llega en la franja del confort térmico.

En la siguiente figura (Figura 3.5), se pueden comparar la media horaria de temperatura de bulbo seco y la humedad relativa para cada mes del año. Se puede observar que las temperaturas más altas se producen pasado el mediodía, alrededor de entre las 12 y las 16h. Sin embargo, las humedades relativas mayores, coinciden cuando las temperaturas disminuyen, y disminuyen a medida que la temperatura incrementa alcanzando los mínimos de humedad relativa pasado el mediodía.

En los meses de verano, se alcanza la zona de confort en casi todas las horas, e incluso se llega a superar en las horas del mediodía. En cambio, en los meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril, Noviembre y Diciembre, no se llega a la temperatura de confort térmico.

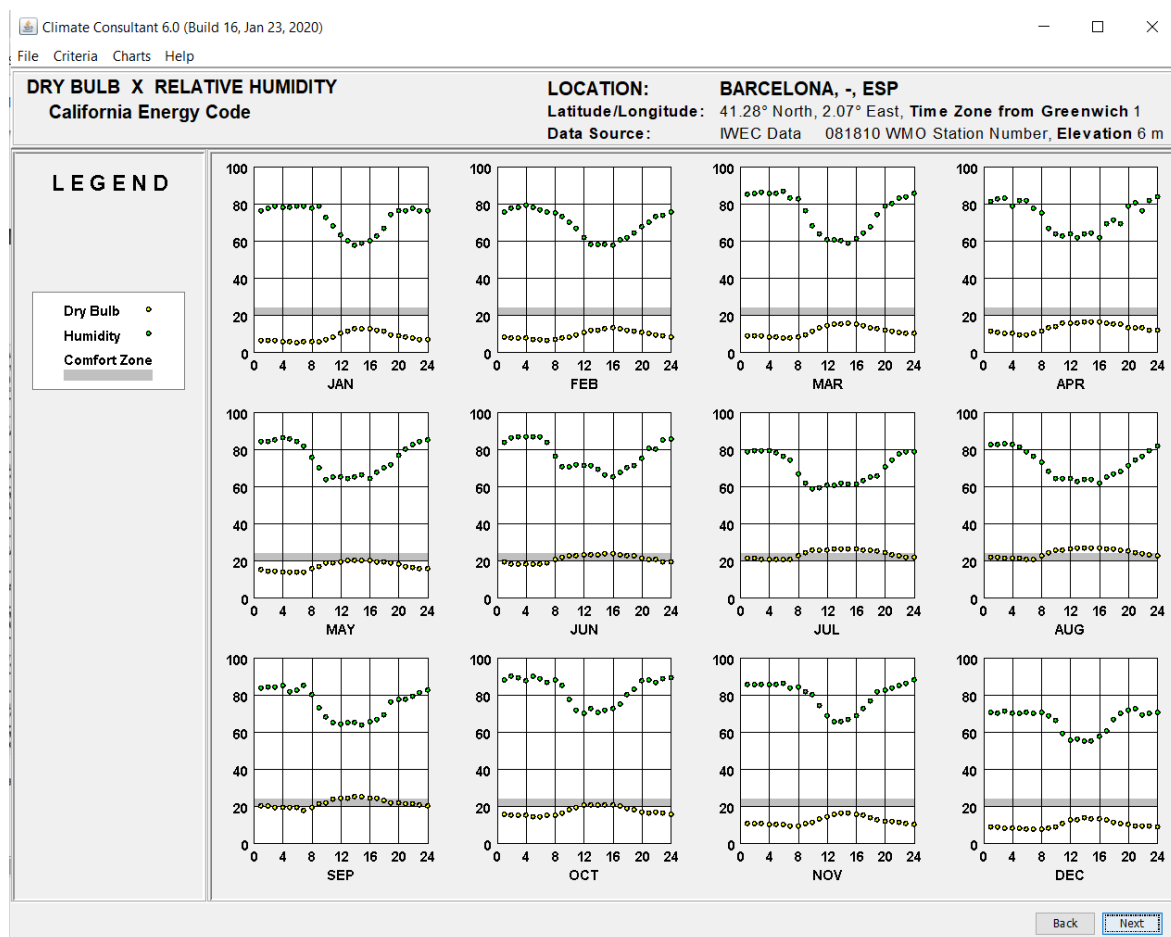


Figura 3.5. Promedio horario de temperaturas de bulbo seco y humedades relativas en Barcelona. (Fuente: EnergyPlus)

### 3.3. Transferencia de calor

Cuando se tienen dos sistemas en contacto o conectados mediante una superficie conductora a diferentes temperaturas, hay una transferencia de calor, que es el traspaso de energía calórica de un medio al otro (6). Los dos sistemas, al estar en contacto, permiten el flujo de energía del punto de mayor temperatura al de menor, hasta alcanzar un equilibrio térmico, que es cuando las temperaturas de los diferentes sistemas se han igualado. Este flujo de energía también se le llama flujo de calor.

El flujo de calor describe la transferencia de potencia térmica (calor por unidad de tiempo) por unidad de área. Viene definido por la siguiente expresión.

$$\varphi = \frac{\phi}{A} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Dónde:

- $\varphi$  : Flujo de calor (W/m<sup>2</sup>)
- $\phi$  : Potencia térmica (W)
- A: Área (m<sup>2</sup>)

Según Yunus A. ÇENGEL el proceso de transferencia de calor puede darse por tres modos (7):

- Conducción
- Convección
- Radiación.

### 3.3.1. Conducción

La conducción se refiere cuando el proceso de transferencia de calor se produce mediante el contacto directo de las partículas de un material con el otro a diferente temperatura, sin transferir materia entre los cuerpos. Este modo puede ocurrir tanto en sólidos debido a ondas vibratorias inducidas por las vibraciones de las moléculas situadas en una posición relativamente fija en una forma periódica de red cristalina, y el transporte de energía mediante el flujo libre de electrones libres, como en líquidos o gases debido a las colisiones de las moléculas durante su movimiento aleatorio.

Este fenómeno se describe mediante la ley de Fourier:

$$\dot{Q}_{cond} = -k * A * \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Siendo:

- $\dot{Q}_{cond}$ : tasa de conducción de calor (W)
- k: Conductividad térmica del material
- A: Área
- $\Delta T$ : Diferencia de temperatura

- $\Delta x$ : El espesor entre los dos medios.

La conductividad térmica de un material, indica la capacidad de ese material para conducir el calor de un sistema a otro. En los metales esto se debe en gran medida al componente electrónico, mientras que en los no metales se debe más a la red cristalina.

Cuando hablamos de una conductividad térmica elevada, decimos que el material es buen conductor, y por el contrario, si la conductividad térmica es baja, entonces el material es un buen aislante o mal conductor.

### 3.3.2. Convección

La convección es similar a la conducción, pero en este caso un fluido en movimiento recibe el calor de una superficie sólida por los efectos de conducción y los de movimiento de fluido. Si el fluido no estuviera en movimiento, estaríamos hablando de conducción. Gracias al movimiento del fluido, se incrementa la transferencia de calor, ya que el fluido que ha recibido el calor, es sustituido por fluido más frío. Mientras mayor sea el movimiento del fluido, mayor será la transferencia de calor por convección.

La tasa de transferencia de calor por convección se determina a partir de la ley de enfriamiento de Newton, expresada como:

$$\dot{Q}_{conv} = h * A * (T_s - T_f) \quad (\text{Eq. 3.3})$$

Dónde:

- $\dot{Q}_{conv}$ : tasa de transferencia de calor por convección (W)
- $h$ : coeficiente de transferencia de calor por convección
- $T_s$ : Temperatura de la superficie sólida.
- $T_f$ : Temperatura del fluido lejos de la superficie.

El coeficiente de transferencia de calor por convección no es una propiedad del fluido o del sólido, sino que se determina de forma experimental teniendo en cuenta todas las variables que afectan a la convección, como la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades del fluido y la velocidad del fluido.

### 3.3.3. Radiación

Este tipo de transferencia de calor es el único que se puede dar en ausencia de contacto entre los sistemas o también en ausencia de una superficie conductora, es decir, se puede transmitir en el vacío.

En este caso, la materia emite energía en forma de ondas electromagnéticas por los cambios en las configuraciones de electrones de los átomos o moléculas. Este tipo de transferencia de calor, es la manera es la más rápida, ya que se lleva a cabo a la velocidad de la luz.

Cualquier cuerpo emite radiación térmica si está a una temperatura superior al cero absoluto.

La tasa de radiación que una superficie puede emitir a una temperatura absoluta se puede determinar mediante la ley de Stefan-Boltzmann como:

$$\dot{Q}_{rad,max} = \sigma * A * T_{abs}^4 \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Dónde:

- $\sigma$  : Constante de Stefan-Boltzmann, que equivale a  $5.67 * 10^{-8} \text{ W/m}^2$
- A: Area superficial del cuerpo
- $T_{abs}$ : Temperatura absoluta

Esto formula equivaldría a una superficie idealizada llamada cuerpo negro, que es un cuerpo que absorbe toda la energía de la radiación sin disiparla, transmitirla ni reflectarla. La radiación que emiten las superficies reales se expresa como:

$$Q_{rad} = \varepsilon * \sigma * A * T_{abs}^4 \quad (\text{Eq. 3.5})$$

Dónde:

- $\varepsilon$  : Emisividad de la superficie

La emisividad es una media que indica qué tan cerca esta en cuanto a similitud la superficie con un cuerpo negro. Este valor está en el intervalo entre 0 y 1, dónde 1 indicaría que se trata de un cuerpo negro.

Otra propiedad de una superficie es la absorbancia, que indica la fracción de energía que incide en un cuerpo, y al igual que la emisividad, este valor oscila entre 0 y 1, dónde 1 sería un absorbedor perfecto, que sería el caso de un cuerpo negro.

Finalmente, la diferencia entre las tasas de radiación emitida y radiación absorbida es la transferencia neta, es decir, si el cuerpo analizada gana o pierde energía. Es por eso, que la temperatura absoluta es:

$$T_{abs} = T_{cuerpo} - T_{alrededores} \quad (\text{Eq. 3.6})$$

Dónde:

- $T_{cuerpo}$ : Temperatura de la superficie del cuerpo
- $T_{alrededores}$ : Temperatura de la superficie que encierra el cuerpo

### 3.3.4. Transferencia de calor a través de paredes y techos

Según Yunus A. Çengel (8), en los edificios, las paredes y los techos suelen estar compuestos por varias capas de materiales, lo que dificulta conocer la resistencia térmica total. La transferencia de calor a través de una sección de pared o techo también se ve afectada por los coeficientes de transferencia de calor por convección y radiación en las superficies expuestas.

El coeficiente de transferencia de calor de la superficie interior,  $h_i$ , permanece muy constante durante todo el año, pero el valor de  $h_o$  varía de manera considerable a causa de su dependencia de la orientación y de la velocidad del viento, la cual puede variar desde menos de 1 km/h, con condiciones de tiempo en clima tranquilo, hasta más de 40 km/h durante las tormentas. Estos valores ya

Los componentes de construcción a menudo contienen espacios de aire atrapado entre varias capas. Las resistencias térmicas de esos espacios llenos de aire dependen del espesor de la capa, la diferencia de temperatura a través de ésta, la temperatura media del aire, la emisividad de cada superficie, la orientación de la capa de aire y la dirección de la transferencia de calor.

En la siguiente imagen se da la lista de las resistencias térmicas de espacios llenos de aire de 20mm, 40mm y 90mm. Los valores de la resistencia térmica de la tabla son aplicables a los espacios llenos de aire de espesor uniforme limitados por superficies paralelas planas y lisas, sin fugas de aire. Se pueden obtener las resistencias térmicas para otras temperaturas, emisividades y espacios llenos de aire por interpolación y extrapolación moderada. También se puede ver que con la presencia de la cámara de aire se aumenta la resistencia térmica.

Resistencias térmicas unitarias (valores  $R$ ) de espacios llenos de aire planos bien sellados (tomado del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE, Ref. 1, Cap. 22, tabla 2)

a) Unidades SI (en  $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ )

Posición del espacio lleno de aire	Dirección de flujo de calor	Temp media, $^\circ\text{C}$	Dif. de temp., $^\circ\text{C}$	Espacio lleno de aire de 20 mm				Espacio lleno de aire de 40-mm				Espacio lleno de aire de 90-mm			
				Emisividad efectiva, $\epsilon_{\text{ef}}$				Emisividad efectiva, $\epsilon_{\text{ef}}$				Emisividad efectiva, $\epsilon_{\text{ef}}$			
				0.03	0.05	0.5	0.82	0.03	0.05	0.5	0.82	0.03	0.05	0.5	0.82
Horizontal	Hacia arriba $\uparrow$	32.2	5.6	0.41	0.39	0.18	0.13	0.45	0.42	0.19	0.14	0.50	0.47	0.20	0.14
		10.0	16.7	0.30	0.29	0.17	0.14	0.33	0.32	0.18	0.14	0.27	0.35	0.19	0.15
		10.0	5.6	0.40	0.39	0.20	0.15	0.44	0.42	0.21	0.16	0.49	0.47	0.23	0.16
		-17.8	11.1	0.32	0.32	0.20	0.16	0.35	0.34	0.22	0.17	0.40	0.38	0.23	0.18
Pendiente de 45°	Hacia arriba $\uparrow$	32.2	5.6	0.52	0.49	0.20	0.14	0.51	0.48	0.20	0.14	0.56	0.52	0.21	0.14
		10.0	16.7	0.35	0.34	0.19	0.14	0.38	0.36	0.20	0.15	0.40	0.38	0.20	0.15
		10.0	5.6	0.51	0.48	0.23	0.17	0.51	0.48	0.23	0.17	0.55	0.52	0.24	0.17
		-17.8	11.1	0.37	0.36	0.23	0.18	0.40	0.39	0.24	0.18	0.43	0.41	0.24	0.19
Vertical	Horizontal $\rightarrow$	32.2	5.6	0.62	0.57	0.21	0.15	0.70	0.64	0.22	0.15	0.65	0.60	0.22	0.15
		10.0	16.7	0.51	0.49	0.23	0.17	0.45	0.43	0.22	0.16	0.47	0.45	0.22	0.16
		10.0	5.6	0.65	0.61	0.25	0.18	0.67	0.62	0.26	0.18	0.64	0.60	0.25	0.18
		-17.8	11.1	0.55	0.53	0.28	0.21	0.49	0.47	0.26	0.20	0.51	0.49	0.27	0.20
Pendiente de 45°	Hacia abajo $\downarrow$	32.2	5.6	0.62	0.58	0.21	0.15	0.89	0.80	0.24	0.16	0.85	0.76	0.24	0.16
		10.0	16.7	0.60	0.57	0.24	0.17	0.63	0.59	0.25	0.18	0.62	0.58	0.25	0.18
		10.0	5.6	0.67	0.63	0.26	0.18	0.90	0.82	0.28	0.19	0.83	0.77	0.28	0.19
		-17.8	11.1	0.66	0.63	0.30	0.22	0.68	0.64	0.31	0.22	0.67	0.64	0.31	0.22
Horizontal	Hacia abajo $\downarrow$	32.2	5.6	0.62	0.58	0.21	0.15	1.07	0.94	0.25	0.17	1.77	1.44	0.28	0.18
		10.0	16.7	0.66	0.62	0.25	0.18	1.10	0.99	0.30	0.20	1.69	1.44	0.33	0.21
		10.0	5.6	0.68	0.63	0.26	0.18	1.16	1.04	0.30	0.20	1.96	1.63	0.34	0.22
		-17.8	11.1	0.74	0.70	0.32	0.23	1.24	1.13	0.39	0.26	1.92	1.68	0.43	0.29

**Figura 3.6.** Resistencias térmicas de espacios llenos de aire planos bien sellados (Fuente: Transferencia de calor y masa, Tercera edición. YUNUS A. ÇENGEL (8))

También es común que los componentes de construcción a menudo contengan aislantes térmicos, de los cuales la mayor parte son heterogéneos, los cuales tienen baja conductividad térmica y contienen bolsas de aire, ya que el aire tiene una de las conductividades térmicas más bajas y se dispone de él con facilidad.

Se determina con facilidad el valor  $R$  de la estructura de una pared o techo que comprenda capas de espesor uniforme al sumar las resistencias térmicas unitarias de las capas que están en serie. Pero cuando en una estructura intervienen componentes como montantes de madera y conectores metálicos, entonces en la red de resistencias térmicas se tienen conexiones en paralelo y posibles efectos bidimensionales.

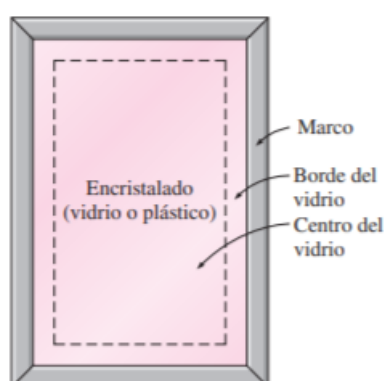
### 3.3.5. Transferencia de calor a través de ventanas

En las paredes exteriores de un edificio las ventanas ofrecen la menor resistencia al flujo del calor. En una casa típica cerca de un tercio de la pérdida total de calor en invierno ocurre a través de las ventanas. a. La mano de obra es muy importante en la construcción e instalación de las ventanas para proporcionar un sellado eficaz alrededor de los bordes, permitiendo al mismo tiempo que se cierren y abran con facilidad.



Una ventana debe tener una buena transmisión de la luz proporcionando al mismo tiempo resistencia eficaz a la transferencia del calor, es por eso, que lo más común sean las ventanas de hoja doble o triple herméticas al aire, ya que como hemos comentado en el caso del aislante de las paredes, el aire tiene una de las conductividades térmicas más bajas y permite la entrada de tanta radiación solar como sea posible.

Pero a diferencia del en cristalado, la estructura y propiedades del marco son bastante diferentes. La transferencia de calor a través del marco y de la sección del borde del en cristalado adyacente al propio marco es bidimensional. Por lo tanto, al analizar la transferencia de calor a través de la ventana, se acostumbra considerarla en tres regiones: el en cristalado, el Borde del vidrio y el marco.



**Figura 3.7.** Las tres regiones de una ventana consideradas en el análisis de la transferencia de calor (Fuente: Transferencia de calor y masa, Tercera edición. YUNUS A. ÇENGEL (8))

En el caso del borde del vidrio, se encuentran los espaciadores, que mantienen separados a una distancia uniforme los cristales. Sin embargo, los espaciadores también sirven como “puentes térmicos” indeseables entre los vidrios, los cuales se encuentran a temperaturas diferentes y la formación de este cortocircuito puede incrementar en forma considerable la transferencia de calor a través de la ventana.

La transferencia de calor a través del armazón es difícil de determinar debido a las distintas configuraciones de las ventanas, tamaños y construcciones diferentes y diversas combinaciones de los materiales usados en la construcción del marco.

### 3.4. Temperatura

#### 3.4.1. Temperatura de bulbo seco

La temperatura de bulbo seco, es la temperatura que se refiere al aire de un entorno, prescindiendo de la radiación solar, la concentración de humedad relativa del ambiente o los movimientos del aire. Esta temperatura se mide con un termómetro de mercurio y es la que se utiliza más comúnmente por su fácil determinación.

#### 3.4.2. Temperatura de bulbo húmedo

La temperatura de Bulbo húmedo, es la temperatura húmeda del aire, es decir, se tiene en cuenta la humedad relativa del entorno y la presión atmosférica y se usa principalmente para tener una idea de la sensación térmica, calcular la humedad relativa o el punto de rocío.

Esta temperatura, se suele calcular mediante la carta psicrométrica (Figura 3.6.) a partir de la temperatura de bulbo seco, la humedad relativa y la presión atmosférica.

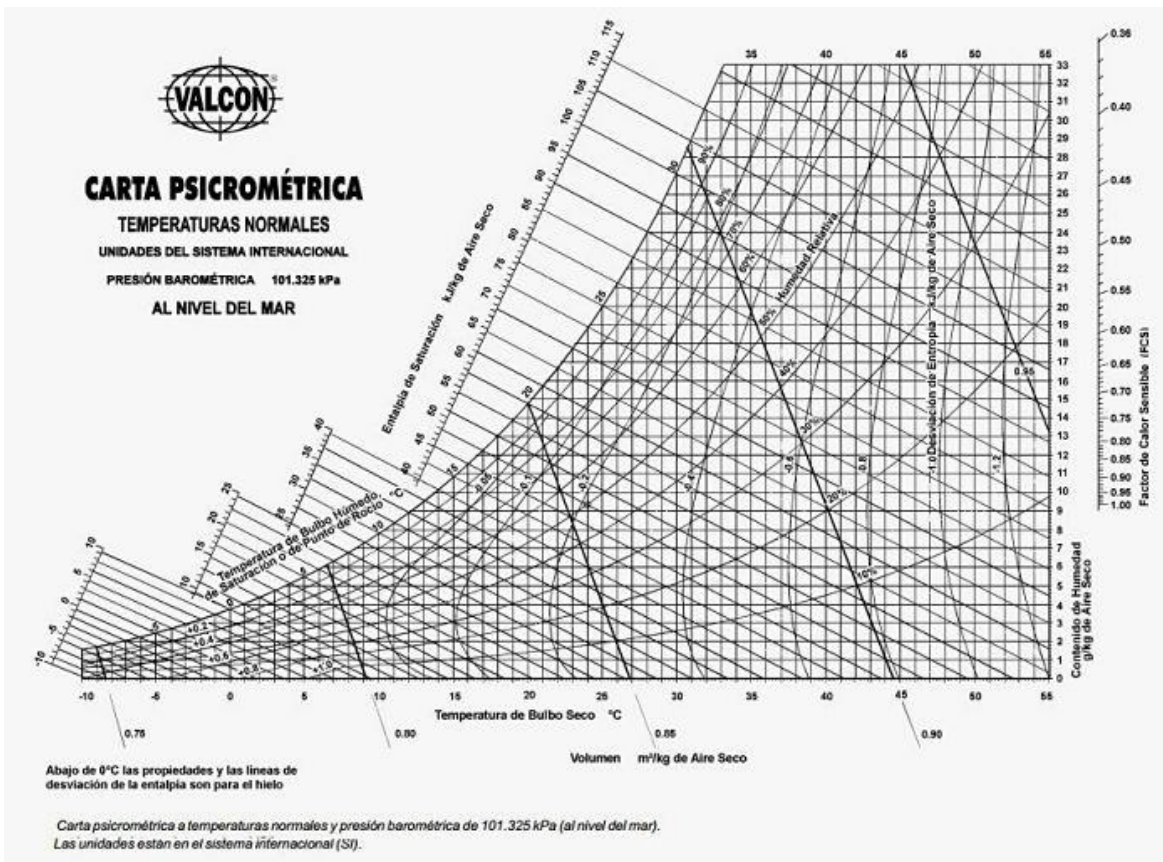


Figura 3.8. Carta psicrométrica

El problema de este método para el cálculo de la temperatura de bulbo húmedo, es que en muchas ocasiones se tienen un gran número de mediciones diferentes, y calcularlo con la carta psicrométrica sería demasiado lento de hacer. Es por eso, que se han estudiado diferentes fórmulas para poder hacer el cálculo de dicha temperatura. Nosotros hemos utilizado la forma que recomienda la agencia estatal de meteorología (AEMET) (5).

Cuando se intenta obtener una fórmula para el cálculo de la temperatura del termómetro húmedo,  $T_b$ , en función de la temperatura del termómetro seco,  $T$ , la presión atmosférica y de la humedad relativa,  $Hr$ , nos encontramos con fórmulas tremendamente complicadas. Sin embargo, se puede obtener una buena aproximación partiendo de la fórmula empírica de Magnus para la tensión de vapor saturante:

$$E = G * 10^{\frac{K+T}{Z+T}} \quad (\text{Eq. 3.7})$$

Siendo:

- E: tensión de vapor saturante en Hpa., a la temperatura t.
- K: 7.5 (si  $T > 0$ )
- K: 9.35 (si  $T < 0$ )
- Z: 237.3 (si  $T > 0$ )
- Z: 261.0 (si  $T < 0$ )
- G: 6.1078

Estos coeficientes están ligeramente modificados, para conseguir un mejor ajuste a las tablas aspiro-psicrométricas del I.N.M.

#### Desarrollo de la fórmula:

Partimos de la fórmula de la humedad relativa:

$$Hr = 100 * \frac{E_1}{E_2} \quad (\text{Eq. 3.8})$$

Siendo:

- Hr: humedad relativa en tanto por ciento
- E1: tensión de vapor
- E2: tensión saturante, sobre agua, a la temperatura del termómetro seco.

La tensión de vapor  $E_1$ , de la fórmula 3.8, se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$E = E' - B * P * (T - T_b) \quad (\text{Eq. 3.9})$$

Siendo:

- $E'$ : tensión saturante en Hpa., a la temperatura del termómetro húmedo  $t'$
- $P$ : presión atmosférica en Hpa, reducida a 0°C
- $B$ : 0.000799 (si  $T > 0$ )
- $B$ : 0.000680 (si  $T < 0$ )

Aplicando la fórmula empírica de Magnus, (Eq 3.7), para la tensión saturante a  $E_2$  en la ecuación 3.8 y a  $E'$  en la fórmula 3.9, se obtienen las siguientes expresiones:

$$E_2 = G * 10^{\frac{K*T}{Z+T}} \quad (\text{Eq. 3.10})$$

$$E_1 = G * 10^{\frac{K*T_b}{Z+T_b}} - B * P * (T - T_b) \quad (\text{Eq. 3.11})$$

Sustituyendo las expresiones de  $E_1$  y  $E_2$  en  $Hr$  (Eq 3.8), se obtiene lo siguiente:

$$Hr = 100 * \frac{G * 10^{\frac{K*T_b}{Z+T_b}} - B * P * (T - T_b)}{G * 10^{\frac{K*T}{Z+T}}} \quad (\text{Eq. 3.12})$$

Si hacemos algunos cambios con propiedades matemáticas, obtenemos:

$$\frac{Hr}{100} = \frac{10^{\frac{K*T_b}{Z+T_b}} - \frac{B * P}{G} * (T - T_b)}{10^{\frac{K*T}{Z+T}}} \quad (\text{Eq. 3.13})$$

Para poder despejar  $T_b$ , hay que desarrollar en serie la exponencial del numerador. Para ello, hay que aplicar la siguiente expresión:

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} * (x - x_0) + \frac{f''(x_0)}{2!} * (x - x_0)^2 + \dots \quad (\text{Eq. 3.14})$$

En este desarrollo, para facilitar solo realizaremos hasta la primera derivada. Para obtener una buena aproximación, el desarrollo en serie ha de hacerse en torno a una temperatura aproximada a la del termómetro húmedo, que representaremos por  $T_e$ .

$$10^{\frac{K*T_b}{Z+T_b}} = \left[ 1 + \frac{K * Z * \ln 10}{(Z + T_e)^2} * (T_b - T_e) \right] * 10^{\frac{K*T_e}{Z+T_e}} \quad (\text{Eq. 3.15})$$

Sustituyendo en la ecuación 3.13, se llega a la siguiente expresión:

$$\frac{Hr}{100} = \frac{\left[ 1 + \frac{K * Z * \ln 10}{(Z + T_e)^2} * (T_b - T_e) \right] * 10^{\frac{K*T_e}{Z+T_e}} - \frac{B}{G} * P * (T - T_b)}{10^{\frac{K*T}{Z+T}}} \quad (\text{Eq. 3.16})$$

Despejando  $T_b$ , se llega finalmente a la expresión buscada:

$$T_b = \frac{\frac{Hr}{100} * 10^{\frac{K*T}{Z+T}} + \frac{B}{G} * P * T - \left[ 1 + \frac{K * Z * \ln 10}{(Z + T_e)^2} * T_e \right] * 10^{\frac{K*T_e}{Z+T_e}}}{10^{\frac{K*T}{Z+T}}} \quad (\text{Eq. 3.17})$$

Para encontrar la temperatura de bulbo húmedo ( $T_b$ ) se tiene que iterar la fórmula obtenida. En el primer paso se sustituye  $T_e=T$ , es decir hacer la temperatura estimada igual a la temperatura del termómetro seco. Con la  $T_{b1}$  que se obtenga, se vuelve a sustituir con  $T_e$ , es decir,  $T_e= T_{b1}$ . Se repite este proceso iterando hasta que la temperatura de bulbo húmedo converja.

### 3.4.3. Sensación térmica

Nuestro cuerpo, dependiendo de la humedad relativa del ambiente, percibirá una sensación térmica diferente a la misma temperatura. Es por ello, que en términos de confort térmico, es importante tener en cuenta este factor.

Según Fernando LLORENTE, redactor y observador de la agencia española de meteorología (19), cuando la temperatura es alta, el cuerpo humano consigue un mayor flujo de sangre que ayuda a perder calor mediante la transpiración o sudor. En cambio, en temperaturas bajas, se mantiene un menor flujo sanguíneo para retener más calor corporal. Sin embargo, esto puede ser alterado a causa de elementos ambientales como el viento o la humedad. Como este proyecto se centra en el confort térmico en el interior de las viviendas, el factor del viento no se tendrá en cuenta.

En altas temperaturas, una humedad alta incrementa la sensación de calor debido a que una humedad alta dificulta o incluso inhibe el proceso de transpiración corporal. Por el contrario, si la humedad es baja se facilita la evaporación del sudor corporal, por lo que nuestro cuerpo perderá calor más fácilmente y la sensación térmica será menor que la temperatura ambiente.

La sensación térmica en las habitaciones dónde se encontraban los sensores se ha calculado mediante la ecuación 3.18 de la agencia española de meteorología (13), en función de la temperatura y la humedad relativa.

$$\begin{aligned}
 ST = & -8,78469476 + 1,61139411 * T + 2,338548839 * HR - & \text{(Eq. 3.18)} \\
 & - 0,14611605 * T * HR - 0,012308094 * T^2 - 0,016424828 * HR^2 + \\
 & + 0,002211732 * T^2 * R + 0,00072546 * T * HR^2 - 0,000003582 * T^2 * HR^2
 \end{aligned}$$

Dónde:

- ST: Sensación térmica.
- T: Temperatura en grados Celcius.
- HR: Humedad relativa del aire en %.

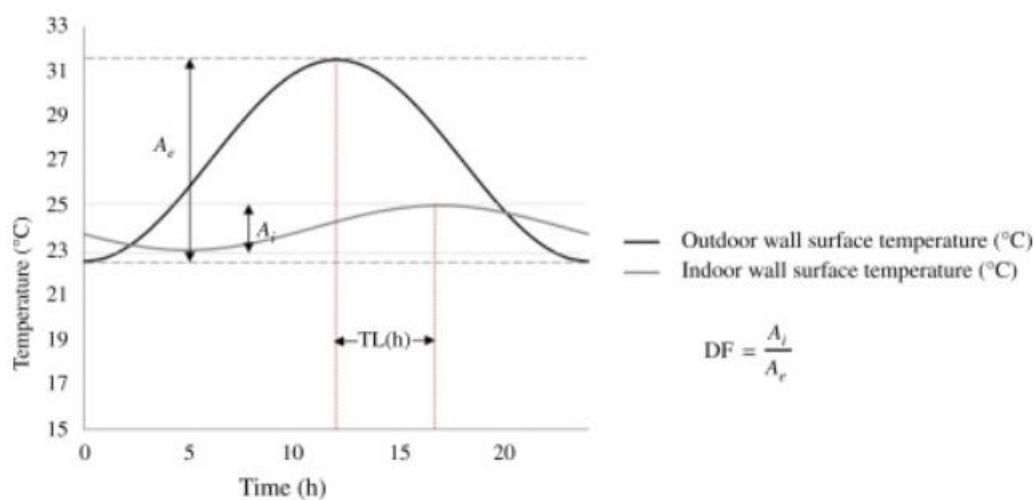
### 3.5. Inercia térmica

La inercia térmica, es una propiedad de los materiales, y se define como la resistencia de un material que opone a los cambios de temperatura, es decir, el grado de lentitud o velocidad con la que la ola de calor se transmite a través del material y su temperatura cambia al tener una transferencia de calor.

Cuando hablamos de una pared que separa el exterior del interior de una habitación, a menudo se pueden percibir las diferencias entre las condiciones ambientales interiores y exteriores nada más entrar. Estas diferencias se pueden resumir, por un lado, en una mayor atenuación de las oscilaciones de temperatura en el interior en relación a las oscilaciones externas y, por otro lado, en un retraso

del instante en que los picos de temperatura en el interior, en comparación con cuando ese pico se produjo en el exterior.

En la siguiente imagen de Science Direct (9) se puede ver este fenómeno, dónde salen representadas la temperatura de la superficie exterior y la temperatura de la superficie interior. Como podemos ver, el incremento de la temperatura exterior, repercute en la temperatura interior, pero esta alcanza el pico de temperatura un tiempo más tarde debido a la inercia térmica de la pared. Esta propiedad, no solo retrasa la amplitud de las variaciones de temperatura, sino que también las reduce.



**Figura 3.9.** Comparación de la temperatura superficial de una pared por el exterior y el interior (Fuente: ScienceDirect (9))

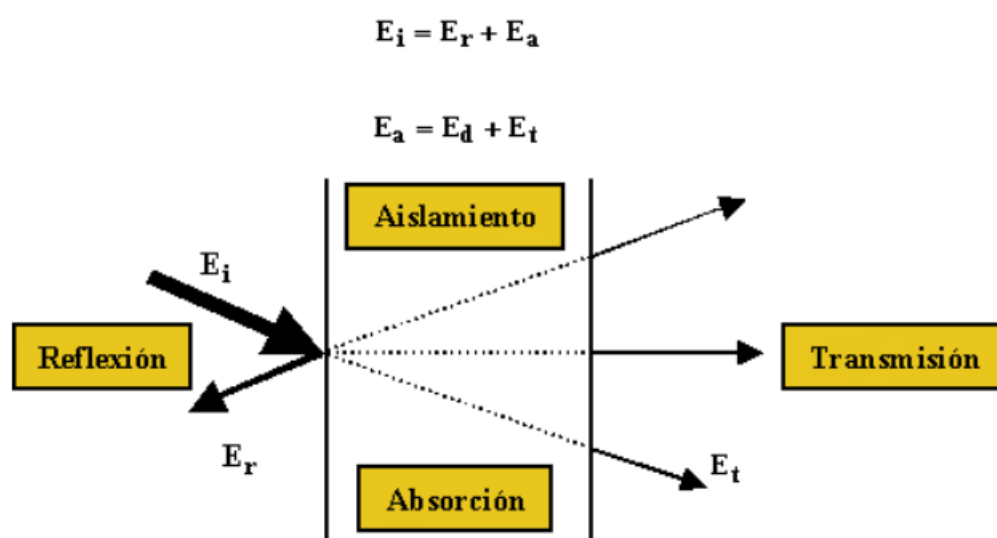
En el ámbito de la construcción, esta propiedad es recomendable tenerla en cuenta, ya que una vivienda con paredes con una gran inercia térmica, estas absorben las ganancias térmicas del sol durante las horas más calurosas y por la noche o en las horas donde no hay ganancias térmicas liberan el calor almacenado al interior.

### 3.6. Contaminación acústica

Hoy en día, un problema habitual en las ciudades es el exceso de ruido debido a las actividades humanas como el tráfico, las industrias, locales de ocio, etc. A este fenómeno se le llama contaminación acústica, que a diferencia de otros contaminantes, este no se acumula ni perdura en el tiempo pero sí que genera daños en la calidad de vida de las personas. Este exceso de ruido puede provocar efectos negativos en la salud auditiva, física y mental de los seres vivos que lo viven a menudo.

La OMS (Organización Mundial de la Salud) considera como el límite superior deseable los 70 dB y en España se establece como nivel de confort acústico un máximo de 55 dB. Es por este motivo, que en el ámbito de la construcción, el aislamiento térmico es un factor importante a tener en cuenta.

En una pared, cuando las ondas sonoras chocan, las presiones sonoras variables que actúan sobre la pared hacen que vibre. Una parte de la energía vibratoria transportada por las ondas sonoras se transmite y pone en movimiento el aire situado al otro lado de la pared, generando sonido. La otra parte de la energía rebota y es irradiada al otro lado. Este proceso se puede ver representado en la siguiente imagen de Grupo de Acústica (10).



**Figura 3.10.** Repartición de la energía que incide en una pared (Fuente: Grupo de Acústica GA (10))

Siendo:

- $E_i$ : Energía del sonido que incide
- $E_r$ : Energía reflejada al medio emisor
- $E_a$ : Energía absorbida
- $E_d$ : Energía disipada en el material
- $E_t$ : Energía transmitida al medio receptor

La energía del sonido que incide ( $E_i$ ) se descompone en la energía reflejada al medio emisor ( $E_r$ ) y la energía absorbida ( $E_a$ ), es decir, la energía no reflejada. A su vez, la energía absorbida se distribuye en energía disipada en el material ( $E_d$ ) y energía transmitida al medio receptor ( $E_t$ ).



Los aislamientos acústicos en las paredes, pretenden reducir la energía transmitida al otro lado de la pared. Esto implica un aumento de energía disipada y/o reflejada. Por tanto, un buen aislante será el material que tiene la propiedad de reflejar o absorber la mayor parte de la energía de la onda incidente.

## 4. Metodología

Para realizar este estudio, se han utilizado diferentes aparatos de medición, se han estudiado diferentes pisos, y se ha hecho el estudio en diferentes estaciones del año, concretamente en los meses de agosto o septiembre, y los meses de diciembre o enero, ya que el clima varía y repercute en las condiciones interiores de un piso.

Las primeras mediciones se han realizado en la estación de verano, los meses de agosto y septiembre. En estos casos, los sensores se han instalado durante un periodo de tiempo de siete días, mientras que en la segunda medición, la de los meses de diciembre y enero, solo se han instalado durante tres días en cada piso.

También se ha de destacar, que en los meses de agosto y septiembre, no disponíamos del sensor de flujo de calor, por lo que este solo se ha podido utilizar en la temporada de temperaturas más frías.

### 4.1. Aparatos de medición

Para la obtención de los datos, se ha tenido que seguir en cada piso los siguientes pasos con cada aparato.

#### 4.1.1. Termohigrómetro



Figura 4.1. Termohigrómetro Elitech RC-4HC (Fuente: Nil MOREU BARRA)

#### **4.1.1.1. Descripción y parámetros técnicos**

Un termohigrómetro es un instrumento que mide temperatura y humedad relativa. En este estudio se ha utilizado un termohigrómetro de la marca Elitech, concretamente el modelo RC-4HC que tiene las siguientes limitaciones de medición:

- Rango de medición de temperatura: -30 °C a 60 °C.
- Precisión de temperatura: Para temperaturas entre -20 °C y 40 °C precisión de  $\pm 0,5$  °C. Para el resto de temperaturas, tiene un rango de  $\pm 1,0$  °C.
- Unidad de temperatura: Grados Celsius (°C) o Grados Fahrenheit (°F).
- Rango de medición de humedad: Entre el 0 y el 99 % RH
- Precisión de humedad:  $\pm 3\%$  RH para una temperatura de 25 °C entre el 20 % RH y el 90 % RH. El resto de  $\pm 5$  % RH.
- Resolución: Temperatura 0,1 °C; Humedad 0,1% RH.
- Capacidad de registro: 16000 datos máximo.
- Intervalo de registro: Entre 10 segundos y 24 horas.
- Fuentes de alimentación. Batería interior CR2450 o alimentación a través de interfaz USB.

#### **4.1.1.2. Pasos previos al registro de datos**

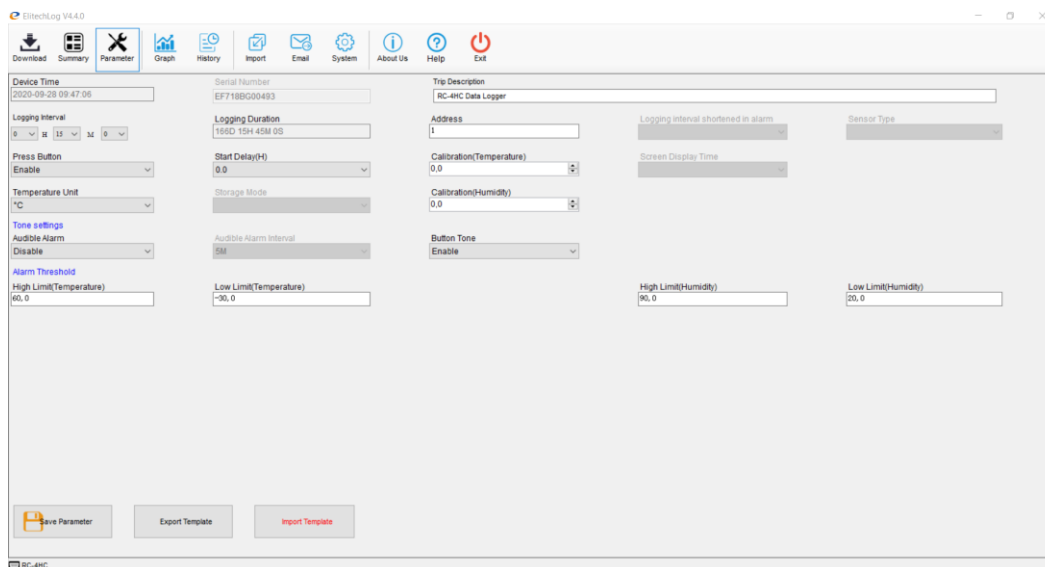
Para la puesta a punto del registrador de temperatura y humedad utilizado en este proyecto, el primer paso que tenemos que hacer es la descarga del software que nos permitirá modificar los parámetros y condiciones de medición, y, posteriormente a la medición, la descarga de los datos recogidos. El programa que necesitamos para nuestros termohigrómetros es ElitechLog V4.4.0. Para la instalación, nos tenemos que descargar el programa de la página web de Elitech e instalarlo en nuestro PC.

Mediante este programa, se tienen que establecer una serie de condiciones en función de las preferencias o necesidades que se tengan, y verificar que la fecha y la hora del dispositivo son correctas.

En nuestro caso, se ha establecido:

- El intervalo de tiempo entre las mediciones será de 15 minutos.
- Las unidades de temperatura serán en grados Celsius.
- La alarma estará apagada para evitar molestar a los residentes de los pisos estudiados.
- El rango de temperaturas que tiene que medir oscilarán entre 60 y -30°C.
- Y que empezará a medir en el instante en que se pulse el botón y por tanto, no se programará para que empiece a medir un tiempo después de la instalación del aparato.

Para hacer esta configuración, se tiene que conectar el aparato al ordenador mediante un cable USB y abrir el programa instalado. Como se puede ver en la siguiente imagen, en la pestaña parámetros se pueden modificar las condiciones establecidas.



**Figura 4.2.** Configuración Termohigrómetros Elitech RC-4HC mediante ElitechLog V4.4.0 (Fuente: Nil MOREU BARRA)

Finalmente, antes de empezar a medir, es conveniente borrar, si hay, las mediciones anteriores para tener más espacio de almacenamiento.

Una vez realizados estos pasos, el termohigrómetro ya está listo para empezar a medir y ya se puede desconectarlo del ordenador

#### 4.1.1.3. Registro de datos

Para empezar a medir, lo primero que se tiene que hacer es decidir el lugar en que se va a dejar el termohigrómetro. Como disponemos de más de uno, se escogen habitaciones con diferentes condiciones, uno en una habitación interior y otro en una habitación exterior con ventanas. Se tiene que buscar una superficie plana para poder dejarlo y tiene que ser un lugar donde no moleste mucho a los residentes del piso para evitar que lo manipulen. También es importante conocer si en el hogar viven niños pequeños y/o animales, si se diera el caso, sería conveniente dejar el medidor en un lugar donde estos no tengan acceso para evitar posible manipulaciones por parte de estos.

Para que el registrador de datos de temperatura y humedad empiece a medir, simplemente se tiene que pulsar por uno segundos el botón del aparato hasta que en la pantalla aparece un triángulo que indica que ha empezado a recoger datos.

#### 4.1.1.4. Procesar datos recogidos

Una vez ha transcurrido el tiempo de medición, con el programa instalado en el PC, nos podemos descargar las mediciones en formato Excel, donde nos vendrán dadas la fecha y hora, la temperatura, la humedad y sus respectivas unidades.

#### 4.1.2. Termómetro Registrador de 3 Canales



**Figura 4.3.** Termómetro registrador de 3 canales Extech instruments SD200 (Fuente: Nil MOREU BARRA)

##### 4.1.2.1. Descripción y parámetros técnicos

Este aparato sirve para grabar hasta tres mediciones de temperatura en el mismo tiempo durante un período de tiempo, en nuestro caso, se trata del modelo SD200 de la marca Extech Instruments. En nuestro caso, nos ayudará a medir la temperatura de las paredes de los pisos. Funciona con tres puertos en el que se conectan tres termopares tipo K, y cada puerto es asignado a un canal en el dispositivo. Cada lectura es mostrada a través de una pantalla LCD. Las grabaciones son almacenadas en una tarjeta SD en formato Excel.

Este dispositivo tiene las siguientes limitaciones:

- Temperatura de operación entre 0 y 50°C.
- Humedad de operación menor de 85% de humedad relativa.
- Fuente de energía mediante 6 baterías alcalinas AAA (UM4) o baterías para servicio pesado de 1.5 V o adaptador CA 9V.

- Dimensiones de 132 x 80 x 32 mm.
- Peso de 199g.
- Escala de temperatura del termómetro tipo K de -50 a 1300°C.
- Resolución de 0.1°C y precisión de  $\pm(0.5\%+0.5^\circ\text{C})$ .

#### 4.1.2.2. Pasos previos al registro de datos

Antes de empezar a medir, es conveniente borrar los datos de mediciones anteriores para que no se solapen en un mismo Excel las mediciones de dos sitios diferentes. También es imprescindible ajustar la fecha y hora, ajustar el período de tiempo entre medición, en nuestro caso 600s, Activar o desactivar el sonido zumbador, en nuestro caso lo dejamos desactivado para no causar molestias a los residentes de los pisos, y seleccionar las unidades de temperatura, en nuestro caso seleccionamos °C.

#### 4.1.2.3. Registro de datos

Como con todos los sensores, es importante conocer si en el hogar viven niños pequeños y/o animales, si se diera el caso, sería conveniente dejar el medidor en un lugar donde estos no tengan acceso para evitar posible manipulaciones por parte de estos.

Los termopares, al estar conectados al registrador de datos mediante un cable, los tres tienen que estar situados en la misma habitación, por tanto, es conveniente escoger una habitación que tenga dos paredes con diferentes condiciones térmicas, por ejemplo, una medianera que tenga otro piso al otro lado, y una pared que dé al exterior. De esta manera, tenemos diferentes casos y podemos ampliar el estudio. El tercer termopar, por lo general, medirá la temperatura del techo.

En la campaña experimental de invierno se usará el sensor de flujo de calor, el cual nos servirá para conocer la conductividad térmica de la pared. Pero para ello necesitaremos la temperatura de la pared por el exterior de la vivienda y el interior. Es por ello, que en este caso, dos de los tres canales se reservarán para medir la temperatura por el exterior y por el interior.

Para sujetar los termopares en las paredes o en el techo, hemos usado una cinta de carroceros, teniendo especial precaución en tapar bien la punta metálica para que mida la temperatura de la pared y no la temperatura de la habitación.

#### 4.1.2.4. Procesar datos recogidos

Pasado el tiempo de medición, desconectamos los termopares del termómetro registrador de 3 canales y nos descargamos en nuestro PC el Excel que se ha creado en la tarjeta SD con todos los valores medidos durante el estudio.

### 4.1.3. Monitor de calidad de aire



Figura 4.4. Monitor de calidad de aire RS PRO IM-502 (Fuente: Nil MOREU BARRA)

#### 4.1.3.1. Descripción y parámetros técnicos

El monitor de calidad del aire IM-502 de la marca RS PRO puede medir el dióxido de carbono, la humedad relativa, la temperatura del aire y el índice de ventilación. La fuente de energía es mediante un enchufe de corriente alterna, tiene unas dimensiones de 89 x 62 x 128 mm y un peso aproximado de 190g.

El dióxido de carbono lo mide mediante un sensor de infrarrojos no dispersivo y tiene un intervalo de medición entre 0 y 9999 ppm con una precisión del  $\pm 5\%$  del valor leído y una resolución de  $\pm 1$ ppm.

La temperatura se mide mediante un termistor con un intervalo de medición de 0 a 50 °C con una precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$  y una resolución de  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ .

La humedad relativa se mide mediante un sensor capacitivo y tiene un intervalo de medición de 5 al 95% de humedad relativa, con una precisión de  $\pm 3\%$  si hay entre el 20 y el 80% de HR y una precisión de  $\pm 5\%$  para el resto de intervalos. La resolución es de un 0.1%.

#### 4.1.3.2. Pasos previos al registro de datos

Para la puesta a punto del monitor de calidad de aire y de temperatura y humedad utilizado en este proyecto, el primer paso que tenemos que hacer es la descarga del software que nos permitirá

modificar los parámetros y condiciones de medición, y, posteriormente a la medición, la descarga de los datos recogidos. El programa que necesitamos es *Indoor Air Quality Data Logger.exe*.

Una vez tenemos el programa, podemos establecer una serie de parámetros, en nuestro caso:

- Intervalo de tiempo de 10 minutos.
- Unidad de temperatura en grados Celsius.

Data Logger Setup

Settings

**GENERAL**

Product# Indoor Air Quality Data Logger - USB

Date & Time Format Month/Date/Year/Time

Current Date & Time 01/01/2011 12:01:47PM

Unit Description Indoor Data Logger

Interval 10min

Time synchronization

Temperature Unit

°F  °C

Alarm Unit

On  Off

**ALARM LIMIT**

High RH Limit	90	%RH
Low RH Limit	20	%RH
High Temp Limit	70	°C
Low Temp Limit	20	°C
High CO2 Limit	1000	PPM
Low CO2 Limit	250	PPM
Outside CO2	400	PPM

**LED Indicator Light Setting**

Good CO2 Limit 400 PPM

Normal CO2 Limit 1000 PPM

Help Save Settings Close

**Figura 4.5.** Configuración del monitor de calidad del aire mediante Indoor Air Quality Data Logger (Fuente: Nil MOREU BARRA)

Hecho esto, antes de empezar a medir se tiene que ajustar manualmente desde el propio aparato la fecha y hora para que salgan correctamente en la hoja de datos.



#### **4.1.3.3. Registro de datos**

Como solo se dispone de un medidor de calidad de aire, este se ha decidido colocar en la estancia principal de los pisos, generalmente en el salón, donde los residentes pasan la mayor parte del tiempo. Al igual que el resto de los aparatos, se tiene que tener en cuenta que no sea muy accesible a animales o niños, ya que estos podrían poner en riesgo el registro de datos.

Para empezar a medir, se tiene que pulsar el botón *Rec* durante unos segundos hasta que en la pantalla aparezca “Rec”. En este momento el aparato empieza a tomar las medidas.

#### **4.1.3.4. Procesar datos recogidos**

Una vez han pasado los días de la medición, mediante el software nos descargamos los datos recogidos en formato Excel.

Es importante resetear el aparato para la siguiente medición, ya que si no lo hacemos no hará ningún registro.

#### **4.1.4. Sonómetro**



**Figura 4.6.** Sonómetro PCE 322A (Fuente: Nil MOREU BARRA)

#### 4.1.4.1. Descripción y parámetros técnicos

Un sonómetro es un aparato apto para medir el ruido en diferentes ámbitos, como el ámbito de la industria, la salud, la seguridad y el medioambiente. En este estudio se ha utilizado el modelo PCE-322A con las siguientes especificaciones.

- Rango de frecuencia entre 31,5Hz y 8KHz.
- Rango de medición entre 30 y 130dB.
- Capacidad de almacenar 32700 valores.
- Resolución de 0,1dB.
- Actualización de pantalla cada 0,5 segundos.
- Intervalos de tiempo de medición FAST (125ms) o SLOW (1s).
- Rangos de medición:
  - Lo: 30 - 80 dB
  - Med: 50 - 100 dB
  - Hi: 80 – 130dB
  - Auto: 30 – 130 dB
- Precisión de  $\pm 1,4$  dB bajo condiciones de referencia de 94 dB y 1KHz.
- Temperatura de funcionamiento entre 0°C y 40°C.
- Humedad de funcionamiento de -10°C y 60°C.
- Dimensiones de 280x95x45mm.
- Peso de 350g.

#### 4.1.4.2. Pasos previos al registro de datos

Antes de empezar a grabar las mediciones, se tiene que ajustar la fecha y hora del dispositivo y configurar los parámetros de medición. En este caso se selecciona el intervalo de tiempo de medición SLOW (1s), ya que al medir el ruido de la vivienda, nos interesa poder medir el máximo de tiempo. El rango de medición Auto (entre 30 y 130 dB) para que mida todos los ruidos que puedan haber.

#### 4.1.4.3. Registro de datos

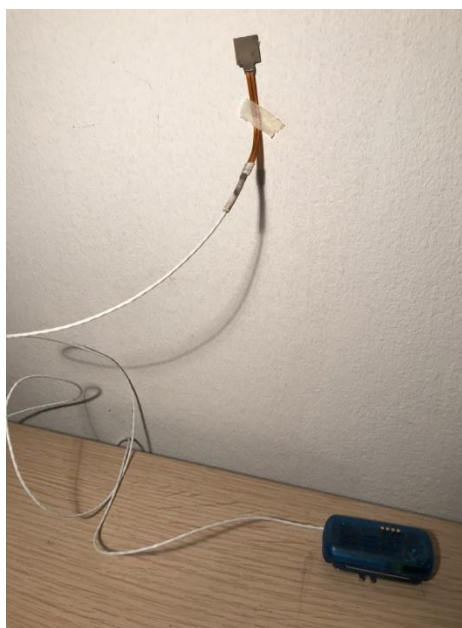
Para el registro de datos, se tiene que escoger un lugar donde se instalará, en este caso, nos interesa habitaciones que den a la calle o a un patio interior para grabar el ruido procedente del exterior.

Una vez se escoge la habitación, se conecta el sonómetro a la corriente y se coloca de forma que quede de cara a la ventana. Como la capacidad de almacenamiento es de 32700 valores, solo es necesario dejar el aparato un día en las viviendas, ya que solo puede grabar 9,08 horas.

#### 4.1.4.4. Procesar datos recogidos

Una vez el sonómetro ha ocupado toda su capacidad de almacenamiento, 8 horas aproximadamente, mediante un software (Sound Level Meter) que se encuentra en la página web [https://www.pce-instruments.com/espanol/descargas-win\\_4.htm](https://www.pce-instruments.com/espanol/descargas-win_4.htm), nos podemos descargar todos los valores recogidos en formato Excel.

#### 4.1.5. Sensor de flujo de calor



**Figura 4.7.** Sensor de flujo de calor greenTEG Gskin dlog-4219 (Fuente: Nil MOREU BARRA)

##### 4.1.5.1. Descripción y parámetros técnicos

Los sensores de flujo de calor miden la energía térmica que pasa a través de la superficie del sensor. En este estudio se ha utilizado un sensor de flujo de calor de la marca greenTEG modelo Gskin dlog-4219 en lo que se refiere al registrador de datos, y modelo XP 26 9C en lo que se refiere al sensor de flujo de calor. Las limitaciones de medición y parámetros técnicos para este conjunto son:

- Frecuencia de medición de 50 segundos a 2 días.
- Capacidad de almacenar más de 2.000.000 de valores.
- Duración de la batería de más de 30 días.
- Funciona mediante una batería recargable.
- Rango de medición de temperatura: -20 °C a 65 °C.
- Conexión USB.
- Rango de flujo de calor de  $\pm 120 \text{ W/m}^2$ .
- Resolución de flujo de calor de  $< 0.09 \text{ W/m}^2$ .

- Dimensiones registrador de datos de 52 x 20 x 15 mm.
- Dimensiones del sensor de flujo de calor de 10 x 10 x 0.5 mm.
- Longitud del cable del sensor de 1 metro.
- Error del sensor de  $\pm 3\%$ .

#### 4.1.5.2. Pasos previos al registro de datos

Para la puesta a punto del registrador del sensor de flujo de calor utilizado en este proyecto, el primer paso que tenemos que hacer es la descarga del software que nos permitirá modificar los parámetros y condiciones de medición, y, posteriormente a la medición, la descarga de los datos recogidos. El programa que necesitamos descargar es “greenTEG Logger V1.02.09”, que se obtiene a través de la página web del fabricante.

Mediante este programa, se tienen que establecer una serie de condiciones en función de las preferencias o necesidades que se tengan, en nuestro caso indicaremos:

- 10 minutos entre medición
- Sensibilidad de  $16.51 \mu V/(W/m^2)$ , establecida por el fabricante

Una vez definidos estos parámetros, se empieza la medición.

#### 4.1.5.3. Registro de datos

El sensor de flujo de calor se coloca en una pared que límite con el exterior, conjuntamente con el registrador de temperaturas superficiales, ya que para conocer la conductividad térmica, se necesitará la diferencia de temperaturas de la pared entre la superficie exterior y la interior.

Para fijar el sensor en la pared, este se pegará mediante pasta térmica, ya que genera un acoplamiento térmico muy fuerte y se adapta a las irregularidades de la superficie.

#### 4.1.5.4. Procesar datos recogidos

Una vez transcurridos los días de medición, mediante el programa instalado previamente nos podremos descargar en formato Excel los valores de flujo de calor en  $W/m^2$  conjuntamente con la fecha y la hora de cada dato.

## 4.2. Pisos medidos

Por política de confidencialidad, en este proyecto no se mencionarán los pisos que han participado en este estudio y solo se limitará a indicar la calle y portal de cada piso.

Este proyecto se ha realizado en la zona del Raval. En total se han estudiado 8 pisos diferentes. En la siguiente imagen (Figura 4.8.) se muestra el Barrio del Raval, y en las etiquetas naranjas la localización de cada piso.



Figura 4.8. Barrio del Raval y localización de los pisos estudiados. (Fuente: Google earth)

En las siguientes imágenes se encuentra la distribución de los sensores por los pisos, y también la orientación del piso.

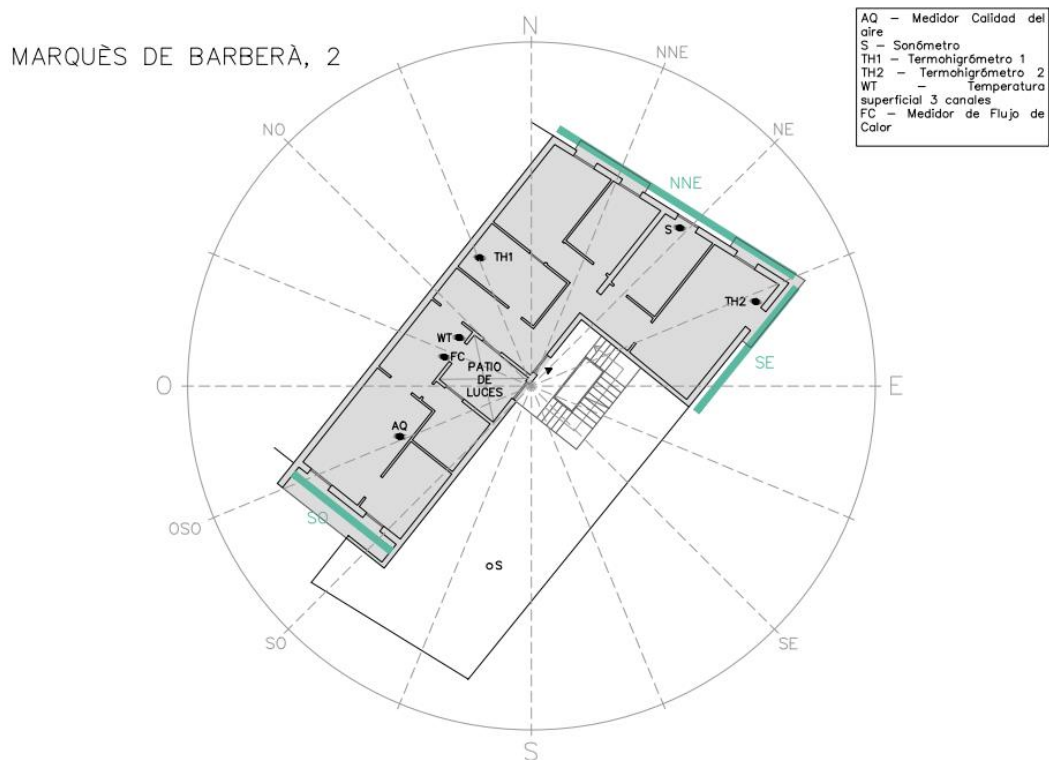


Figura 4.9. Distribución sensores piso Marquès de Barberà 2. (Fuente: Oasiurbà)

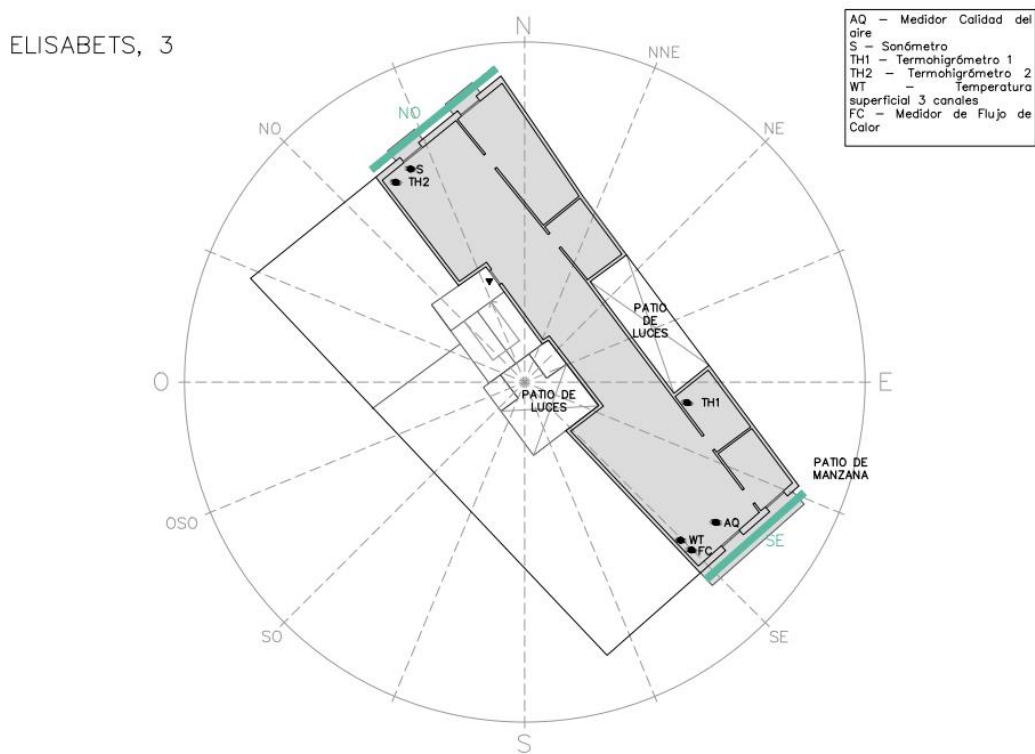


Figura 4.10. Distribución sensores piso Elisabets 3. (Fuente: Oasiurbà)

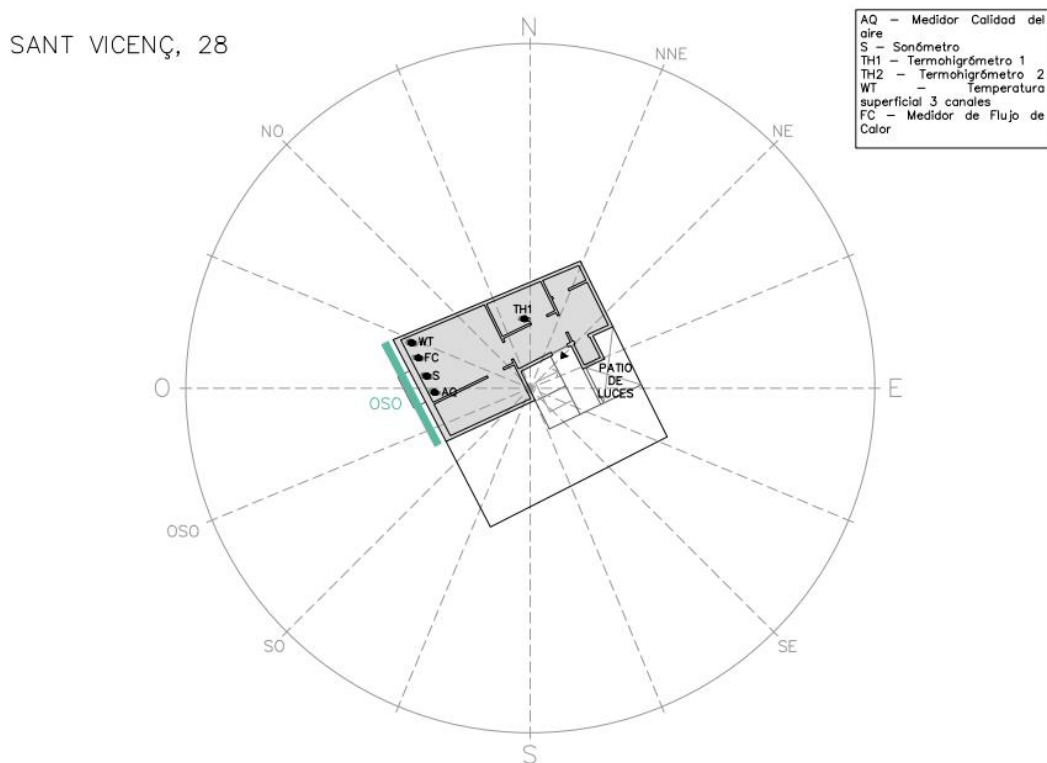


Figura 4.11. Distribución sensores piso Sant Vicenç 28. (Fuente: Oasiurbà)

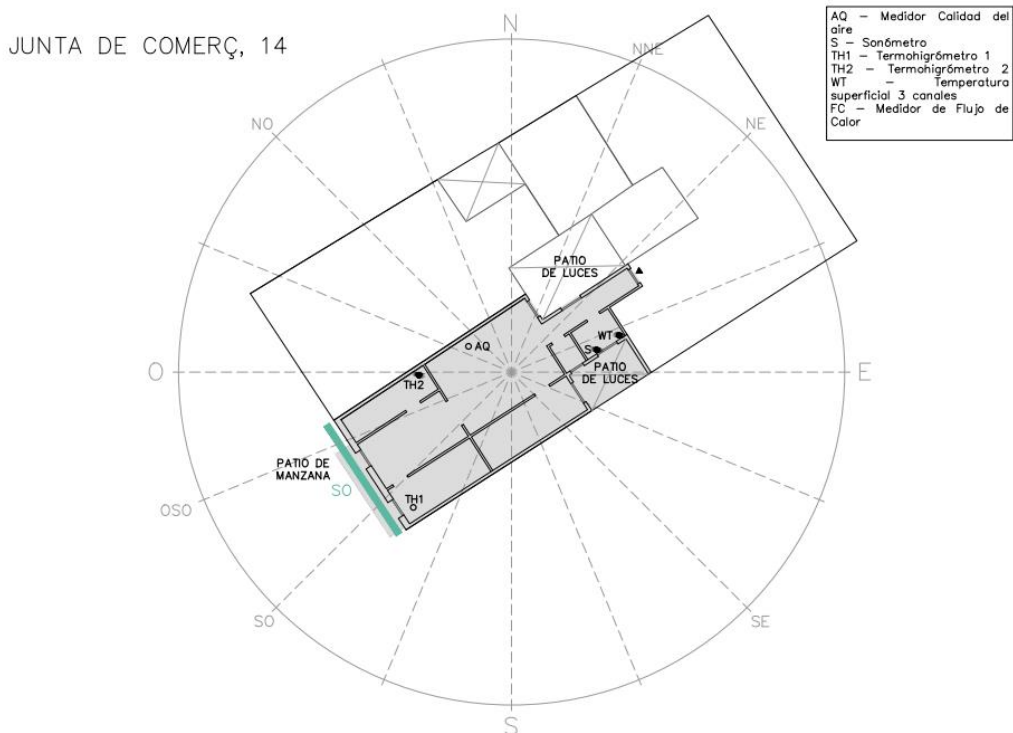


Figura 4.12. Distribución sensores piso Junta de Comerç 14. (Fuente: Oasiurbà)

SANT RAMON 2\_1



Figura 4.13. Distribución sensores piso Sant Ramon 2\_1. (Fuente: Oasiurbà)

SANT RAMON, 2\_2





Figura 4.14. Distribución sensores piso Sant Ramon 2\_2. (Fuente: Oasiurbà)

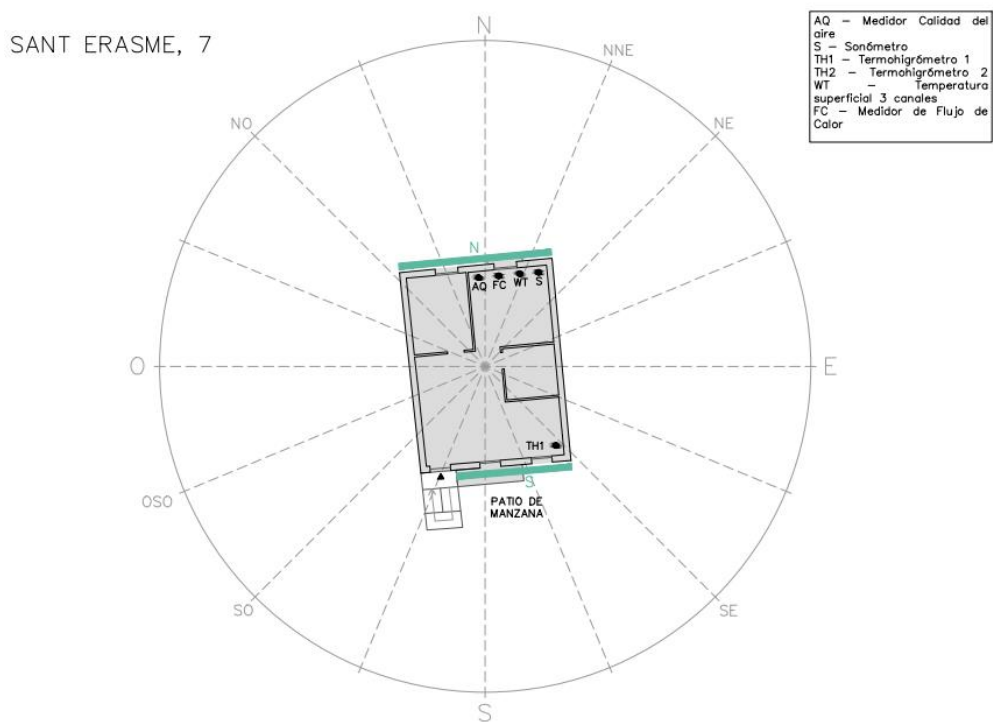


Figura 4.15. Distribución sensores piso Sant Erasme 7. (Fuente: Oasiurbà)

Finalmente en esta figura se pueden apreciar los sensores que se han instalado en cada piso y en que estaciones del año hasta el momento de la entrega de la presente memoria.

		Marqués de Barberà 2	Carretes 48	Elisabets 3	Sant Vicenç 28	Junta de comerç 14	Sant Ramon 2 - 1	Sant Ramon 2 - 2	Sant Erame 7
Verano	Termohigrómetro 1	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
	Termohigrómetro 2	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No
	Monitor de calidad de aire	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	No
	Termómetro registrador de tres canales	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
	Sonómetro	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No
	Sensor de flujo de calor	No	No	No	No	No	No	No	No
invierno	Termohigrómetro 1	Sí	No	Sí	No	No	No	No	Sí
	Termohigrómetro 2	Sí	No	Sí	No	No	No	No	No
	Monitor de calidad de aire	Sí	No	Sí	No	No	No	No	Sí
	Termómetro registrador de tres canales	Sí	No	Sí	No	No	No	No	Sí
	Sonómetro	Sí	No	Sí	No	No	No	No	Sí
	Sensor de flujo de calor	No	No	Sí	No	No	No	No	Sí

Figura 4.16. Mediciones realizadas (Fuente: Nil MOREU BARRA)

## 5. Resultados

En cada piso que hemos medido, se han hecho una serie de gráficas para poder interpretar los datos obtenidos con los sensores.

Para la temperatura, humedad y concentración de CO<sub>2</sub>, los datos obtenidos durante todo el tiempo de medición, se han promediado en cada piso y medidor para tener un valor promedio en una hora específica de las 24 horas del día. Para las temperaturas y humedades, se han comparado los valores con los exteriores obtenidos en la página del servicio meteorológico de Catalunya (11), concretamente la estación del Raval.

En estas gráficas, también se incluyen la temperatura de Bulbo húmedo dentro de la habitación, que se ha calculado mediante la temperatura y humedad que han medido los termohigrómetros o el monitor de calidad de aire, y la sensación térmica para cada habitación.

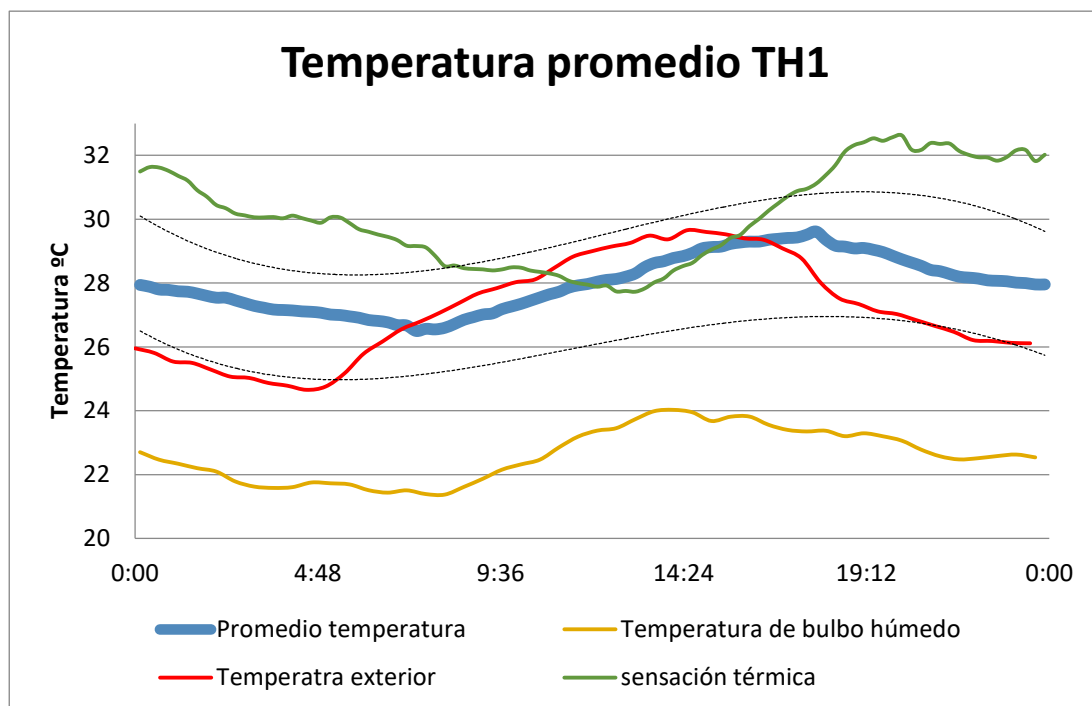
En el caso del ruido, se ha hecho una comparación durante tres períodos diferentes del día (Día, tarde y noche) con los valores del ruido en la fachada exterior obtenido en la página del ayuntamiento de Barcelona (12).

A continuación, se exponen los resultados de las mediciones para cada piso y si es el caso en la temporada de verano, en la temporada de invierno o, si se da el caso, en ambas. Hay que remarcar, que en algunas mediciones, ha habido algún problema con el aparato por razones de un error en la instalación o por razones desconocidas, y por tanto, no se ha podido obtener todos los valores que nos proponíamos.

Los pisos se han nombrado con el nombre de la calle donde se encuentran y el portal. En este documento, no se especificará de qué piso se trata por razones de confidencialidad con los propietarios de las viviendas.

## 5.1. Marquès de Barberà 2

### 5.1.1. Verano



**Figura 5.1.** Temperatura promedio medida por el termohigrómetro 1, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

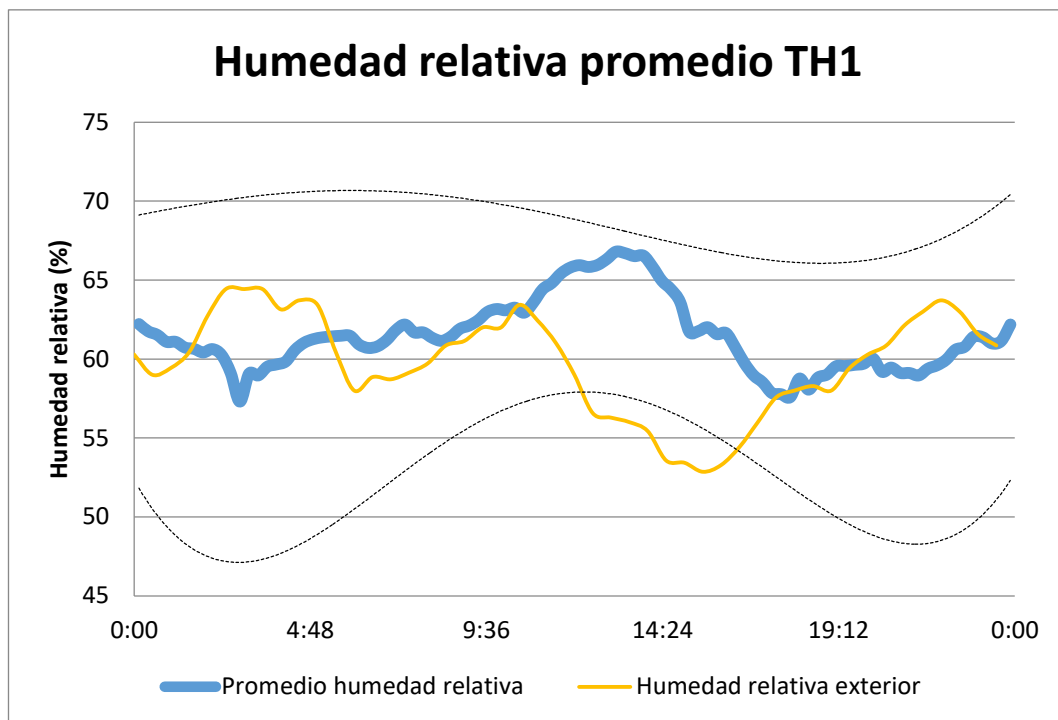


Figura 5.2. Humedad promedio medida por el termohigrómetro 1 y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

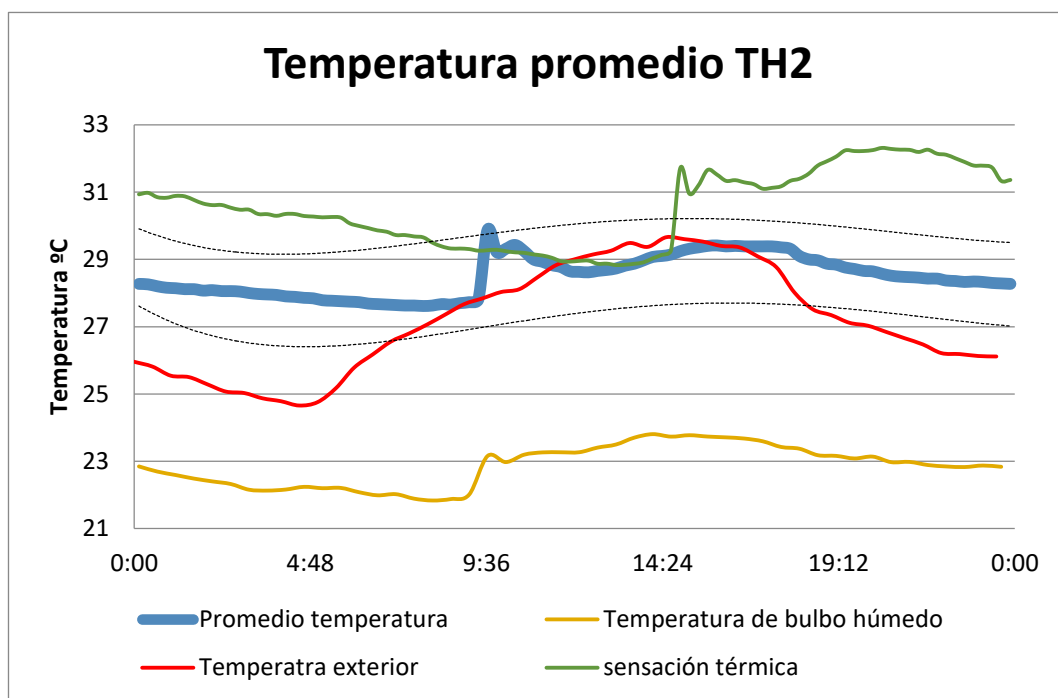


Figura 5.3. Temperatura promedio medida por el termohigrómetro 2, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

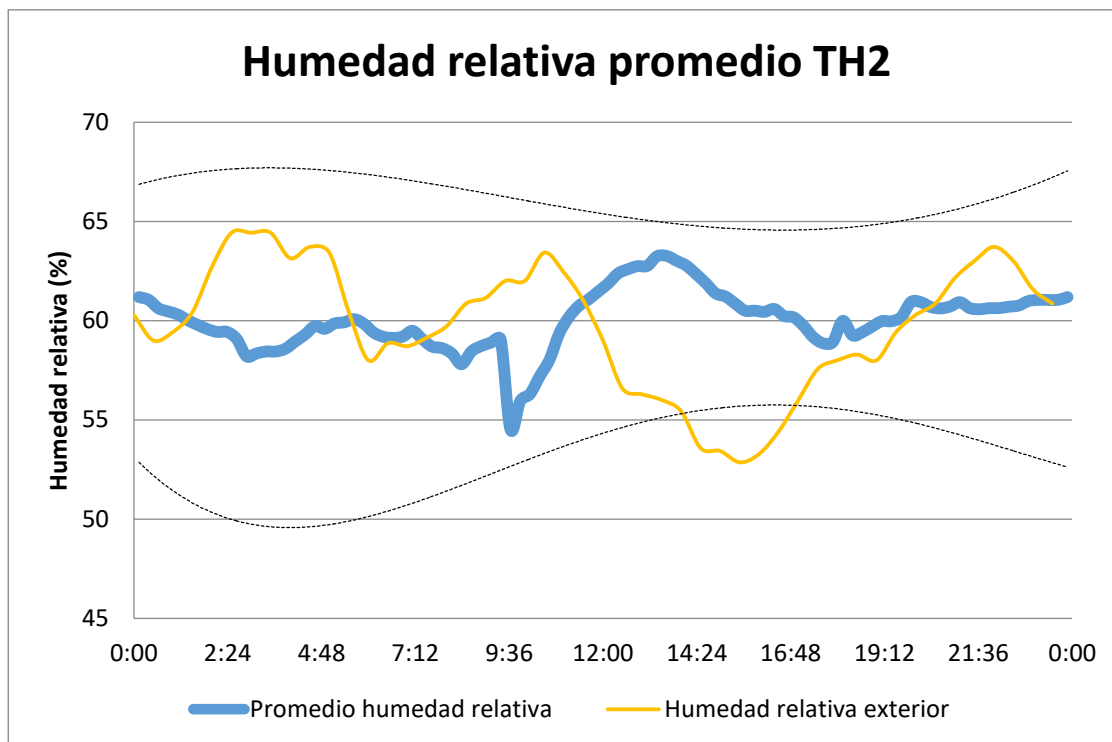


Figura 5.4. Humedad promedio medida por el termohigrómetro 2 y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

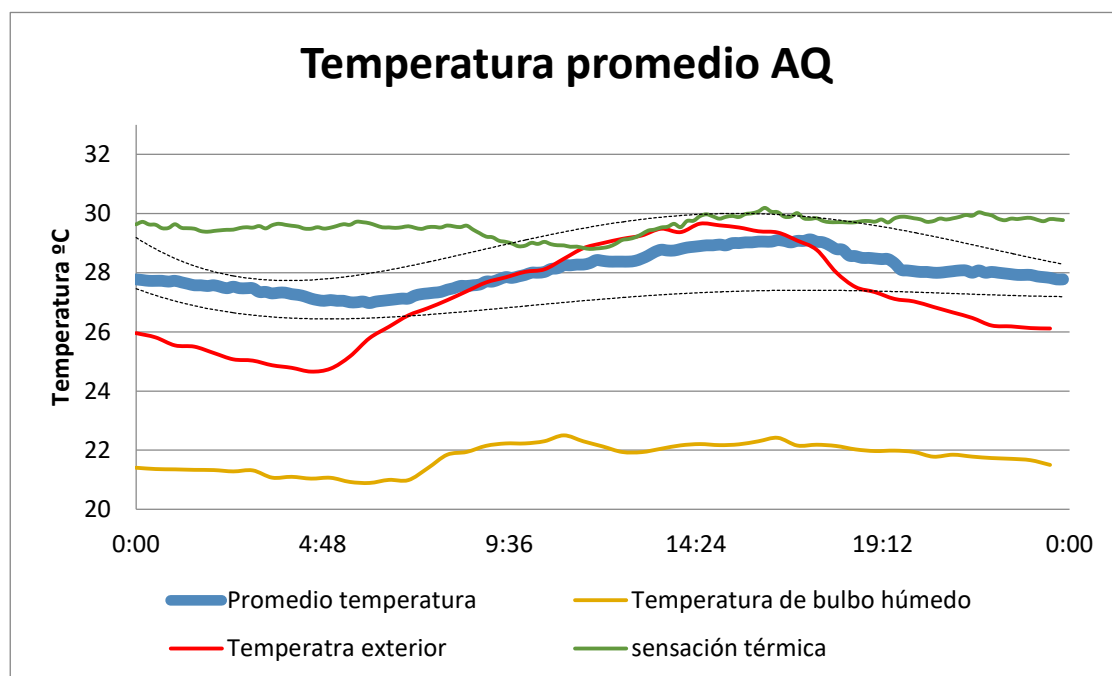


Figura 5.5. Temperatura promedio medida por medidor de calidad de aire, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

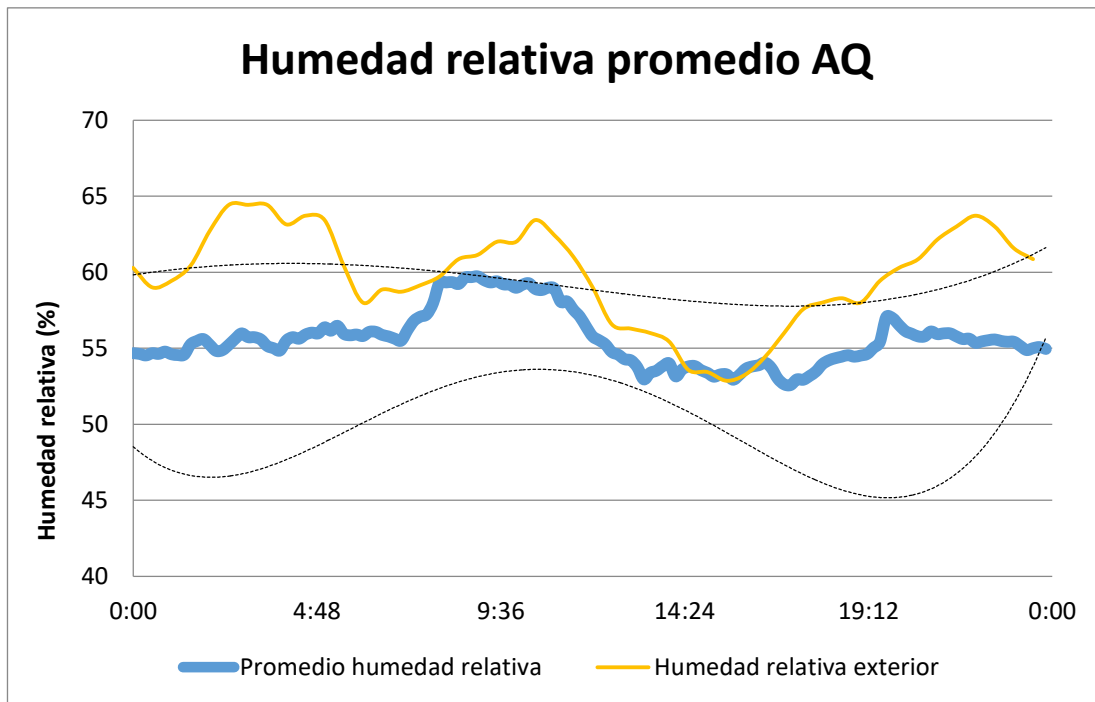


Figura 5.6. Humedad promedio medida por el medidor de calidad de aire y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

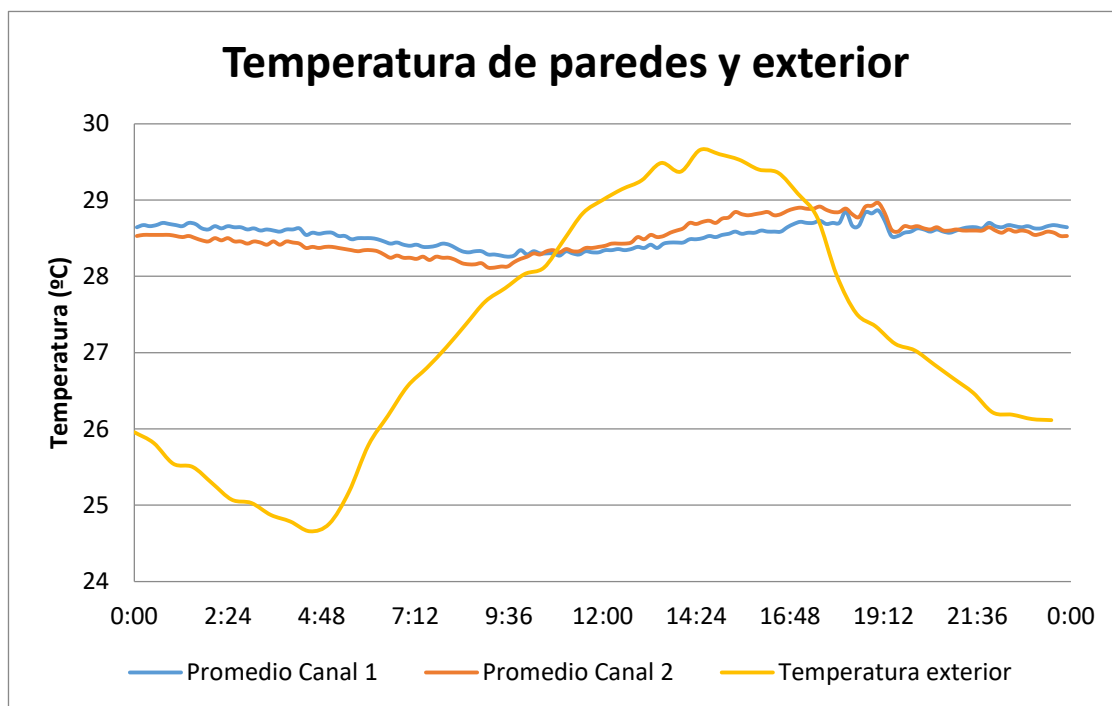


Figura 5.7. Temperatura superficial de las paredes y temperatura exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

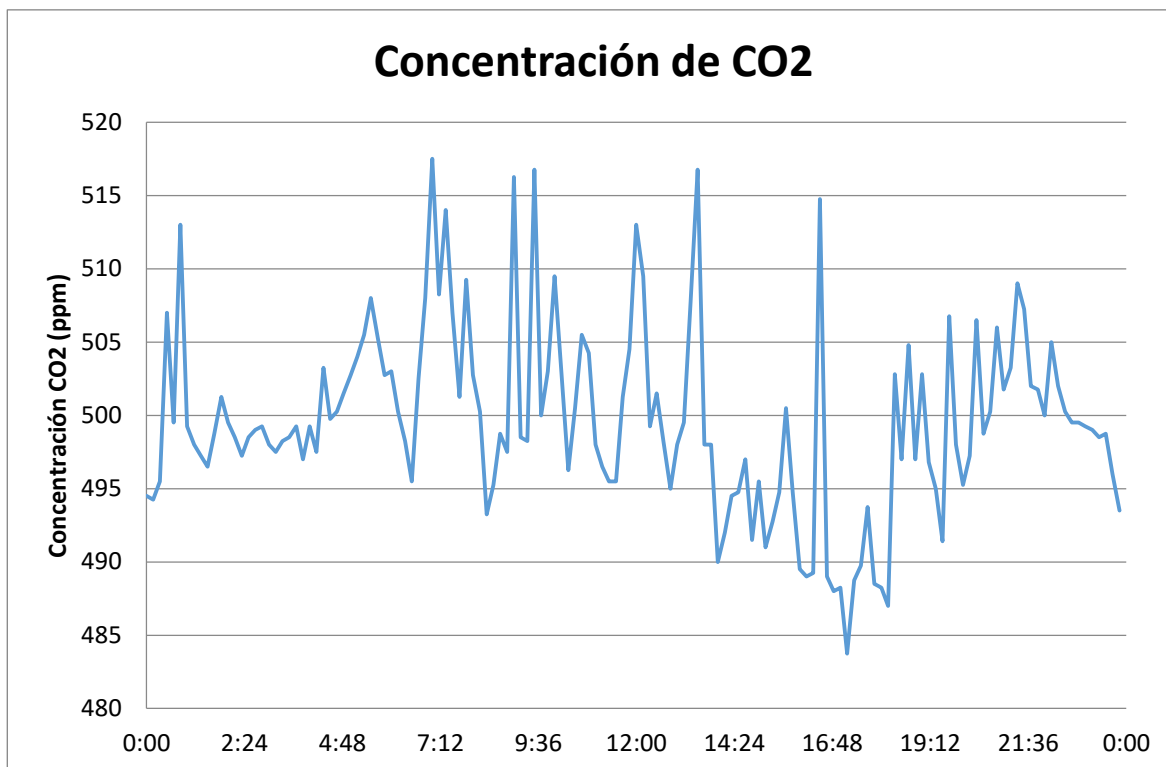


Figura 5.8. Concentración de CO2 medida por el monitor de calidad de aire (Fuente: Nil MOREU BARRA)

Niveles acústicos en fachada (2017)	dBA
Día (7 a 21h)	59.80
Tarde (21 a 23h)	58.00
Noche (23 a 7h)	58.00
Promedio sonómetro	
Día (7 a 21h)	48.02
Tarde (21 a 23h)	45.55
Noche (23 a 7h)	41.63

Figura 5.9. Promedios de ruido medido por el sonómetro y niveles acústicos en la fachada en 2017 (Fuente: Nil MOREU BARRA)

En este caso, se puede observar muy bien el efecto de la inercia térmica, ya que se puede observar como el pico máximo de calor en el interior de la vivienda, ocurre un tiempo más tarde que el pico de calor de la temperatura externa. Esto se debe a que la pared conserva la calor absorbida durante el día y le lleva un cierto tiempo a ceder este calor al interior del piso. La velocidad con la que cede la calor es la inercia térmica.



Respecto a la calidad del aire en este caso se puede observar que la concentración de CO2 en el ambiente es la adecuada, ya que a partir de las 1000 ppm de CO2, se considera una concentración excesiva y por tanto perjudicial para la salud (14). En este caso, no se superan los niveles y podemos considerar que el piso está bien ventilado.

En el caso del ruido, podemos observar que el ruido en el interior es ligeramente inferior al ruido exterior pero sobrepasa los 35 dB por el día y los 30 dB por la noche, superando el límite recomendado (15).

### 5.1.2. Invierno

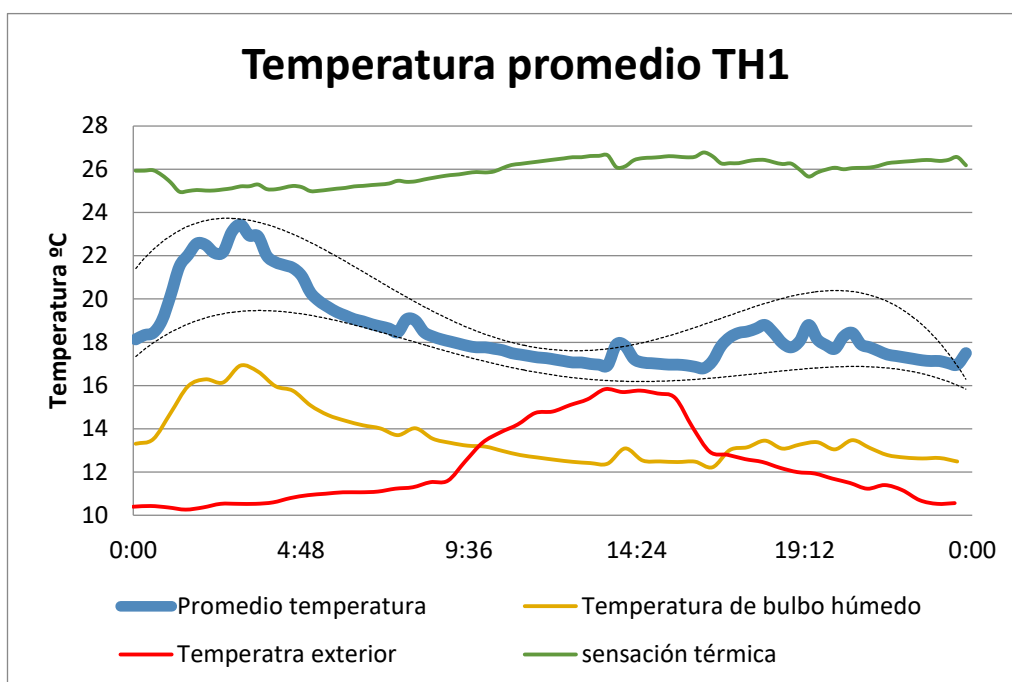


Figura 5.10. Temperatura promedio medida por el termohigrómetro 1, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

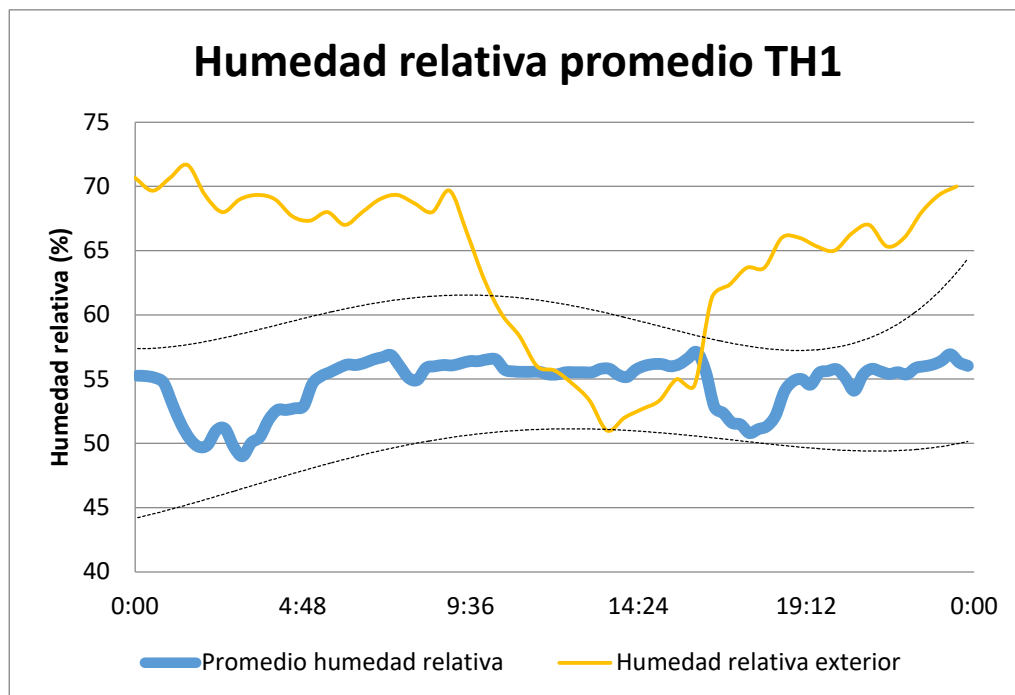


Figura 5.11. Humedad promedio medida por el termohigrómetro 1 y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

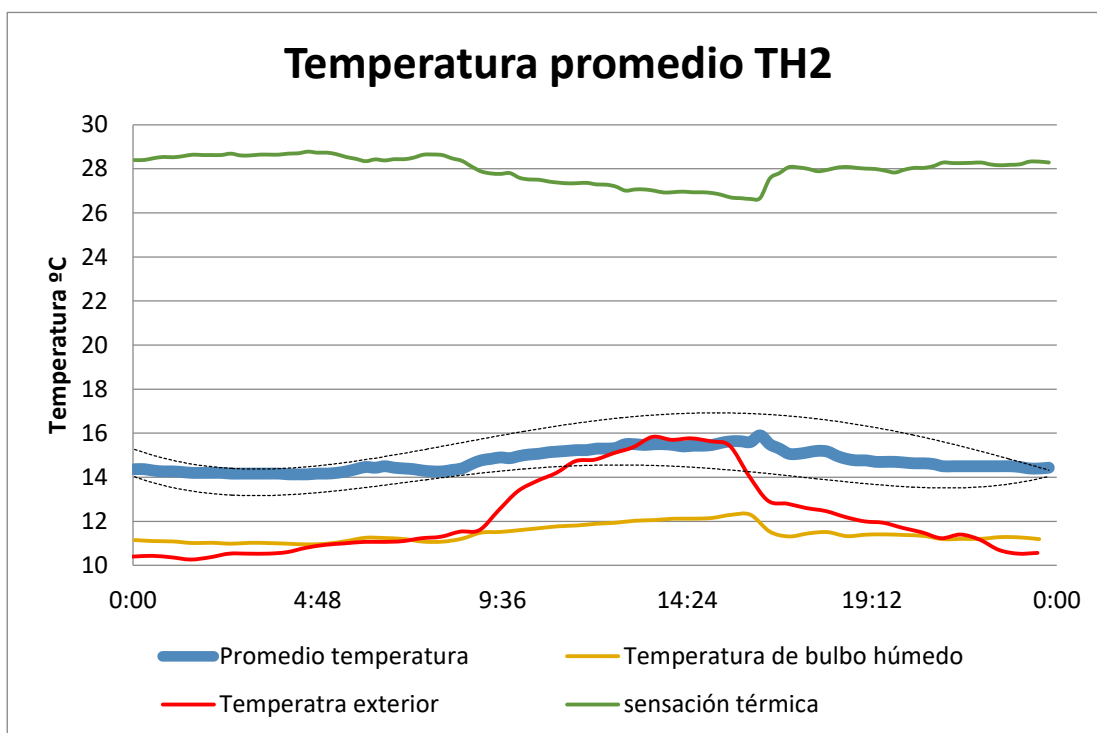


Figura 5.12. Temperatura promedio medida por el termohigrómetro 2, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

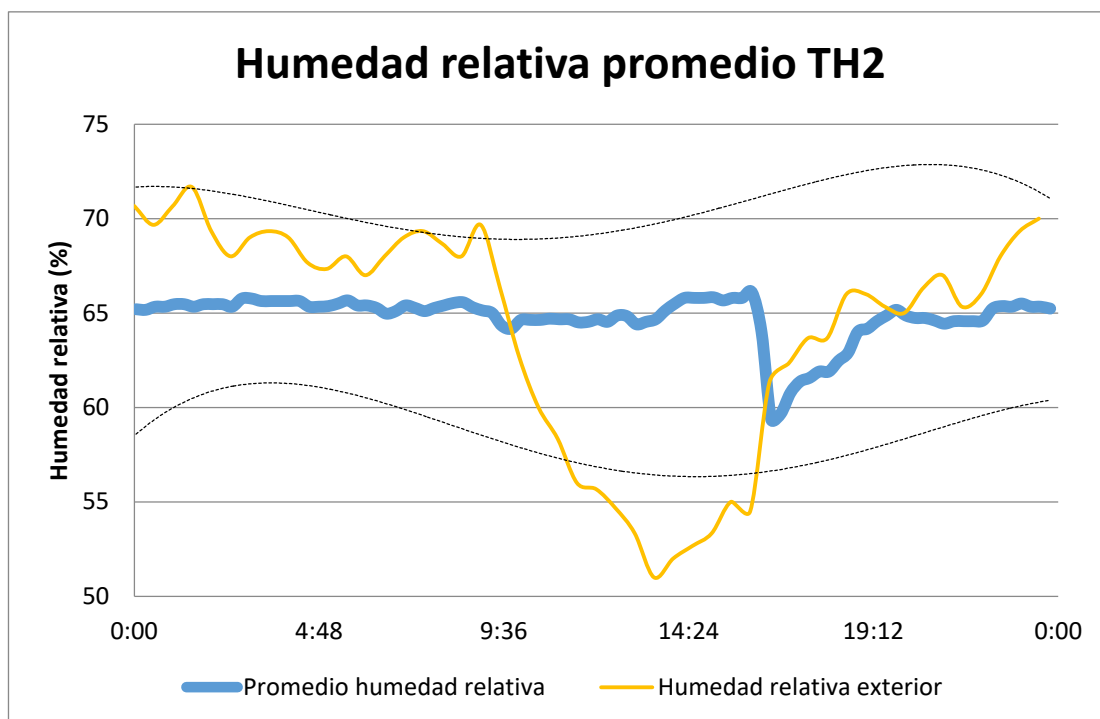


Figura 5.13. Humedad promedio medida por el termohigrómetro 2 y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

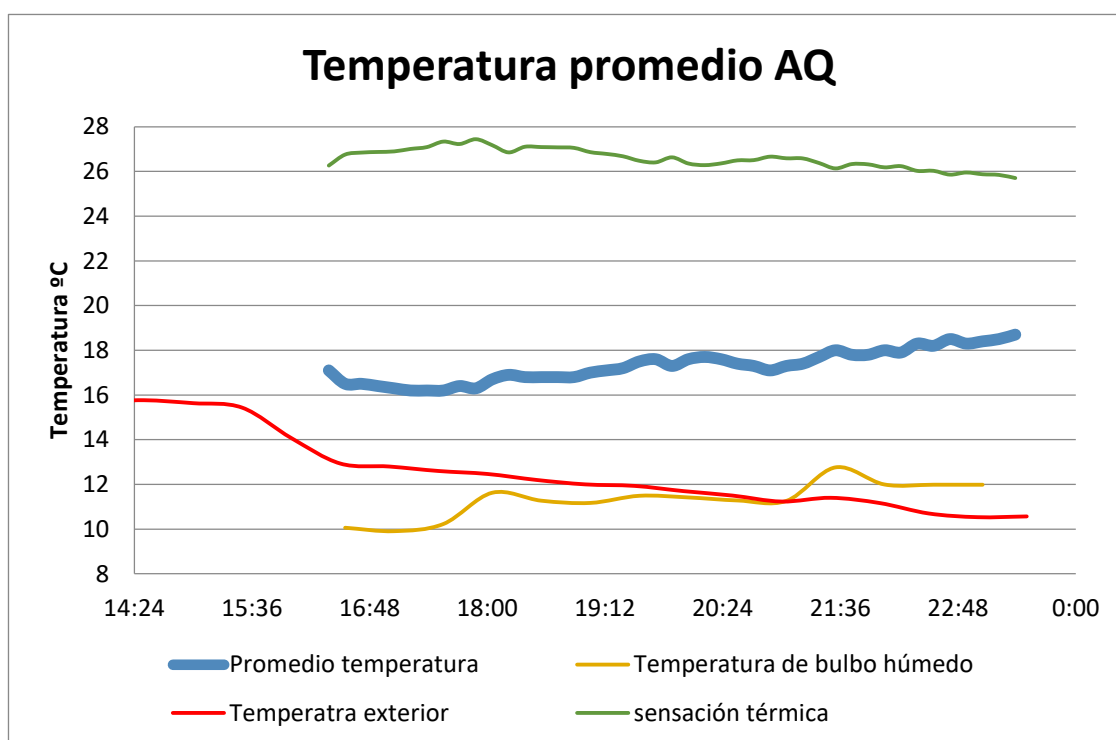


Figura 5.14. Temperatura promedio medida por medidor de calidad de aire, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

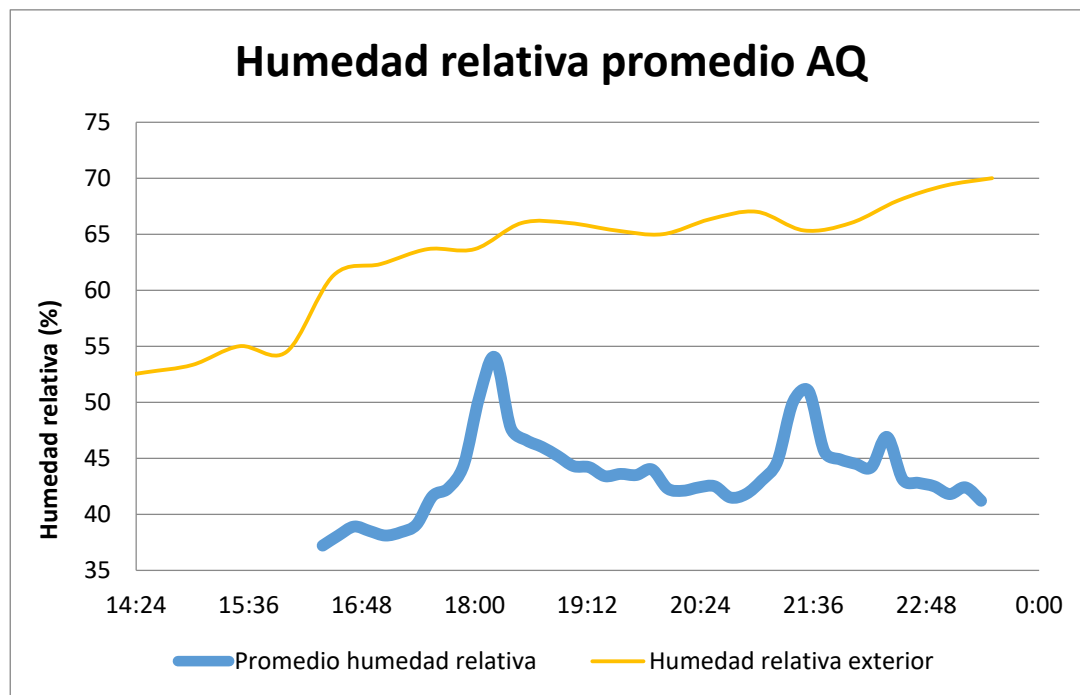


Figura 5.15. Humedad promedio medida por el medidor de calidad de aire y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

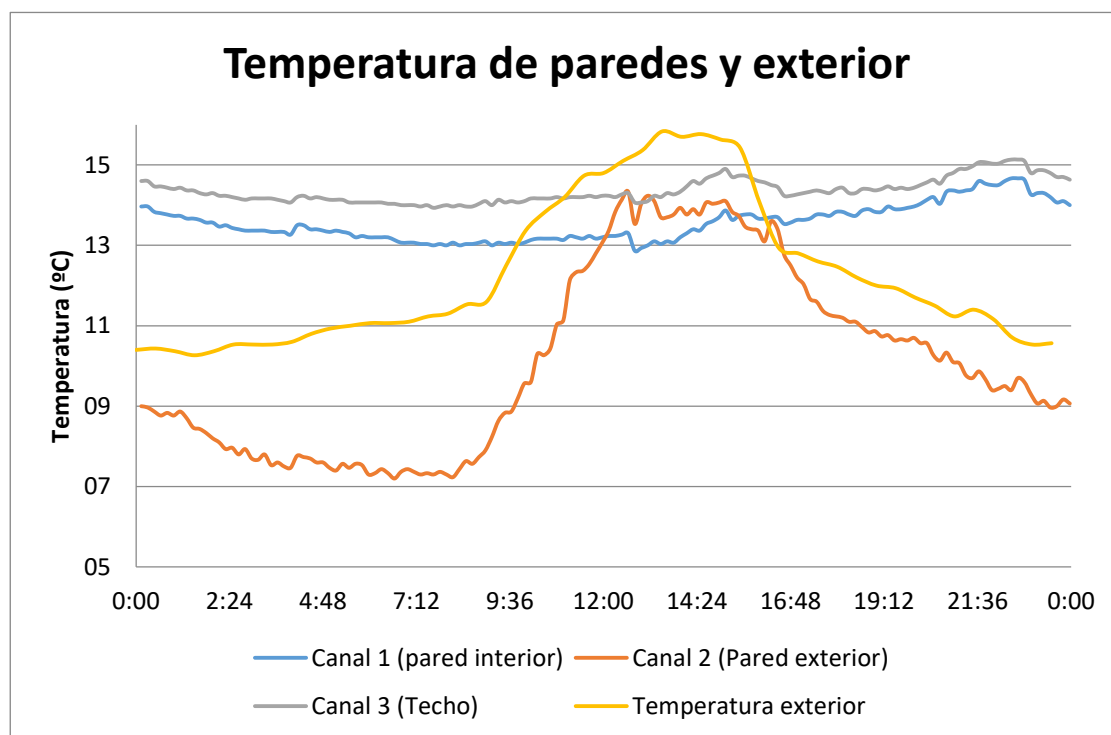


Figura 5.16. Temperatura superficial de las paredes y temperatura exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

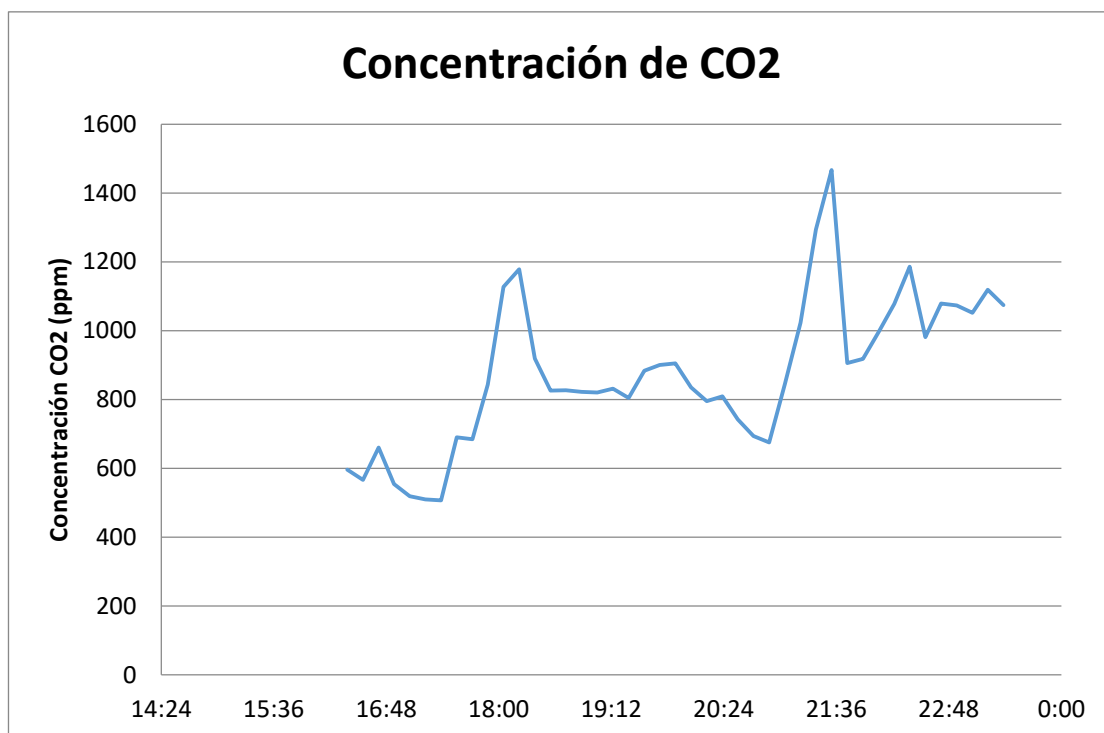


Figura 5.17. Concentración de CO2 medida por el monitor de calidad de aire (Fuente: Nil MOREU BARRA)

Niveles acusticos en fachada (2017)	dBA
Dia (7 a 21h)	59.80
Tarde (21 a 23h)	58.00
Noche (23 a 7h)	58.00
Promedio sonómetro	
Dia (7 a 21h)	41.94
Tarde (21 a 23h)	46.10
Noche (23 a 7h)	37.79

Figura 5.18. Promedios de ruido medido por el sonómetro y niveles acústicos en la fachada en 2017 (Fuente: Nil MOREU BARRA)

A diferencia del termohigrómetro 1 (TH1), en el termohigrómetro 2 (TH2) se puede ver una gran diferencia entre la temperatura medida y la sensación térmica, ya que la sensación térmica está directamente relacionada con la humedad.

La concentración de CO2 en varias horas del día sobrepasa los 1000 ppm recomendados, esto puede ser debido a una mala ventilación.

El ruido interior se ve disminuido respecto al exterior, pero se sobrepasan los niveles recomendados.

## 5.2. Carretes 48

### 5.2.1. Verano

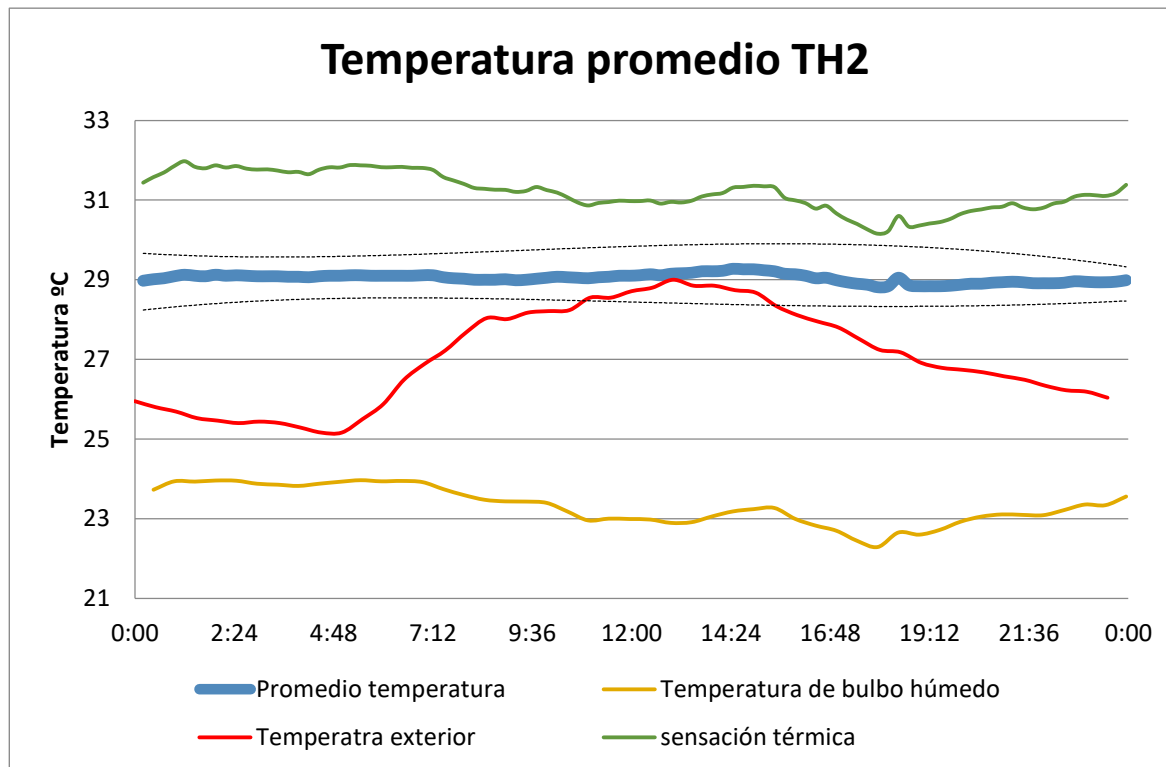


Figura 5.19. Temperatura promedio medida por el termohigrómetro 2, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

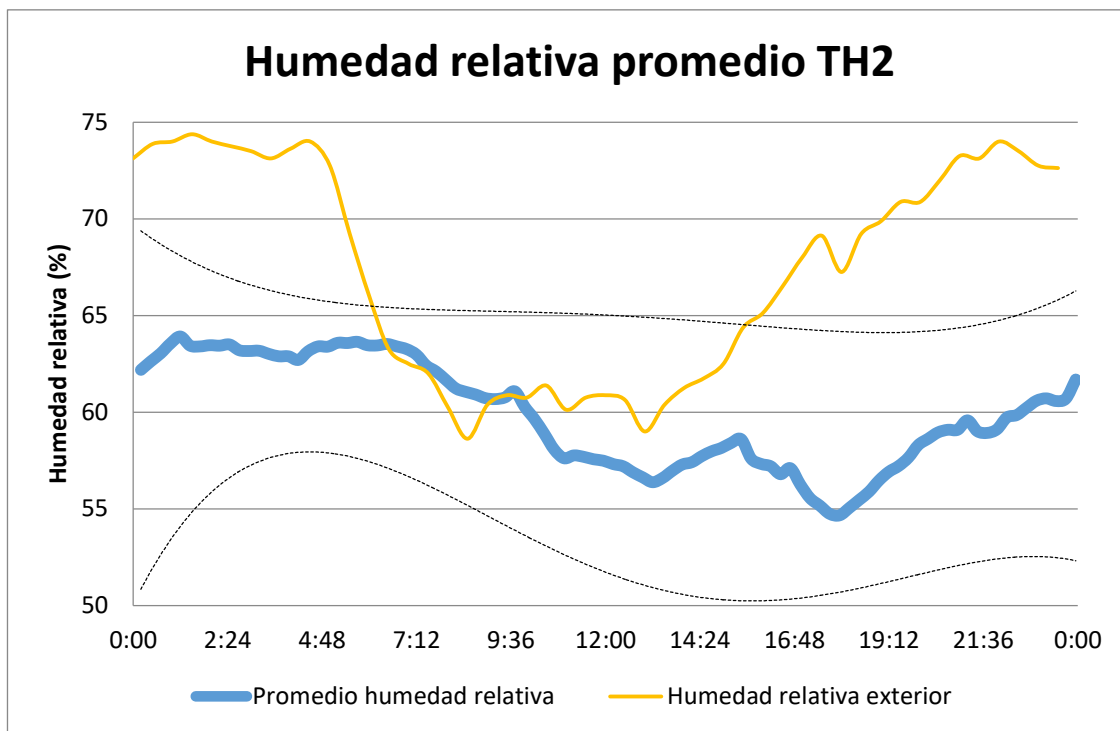


Figura 5.20. Humedad promedio medida por el termohigrómetro 2 y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

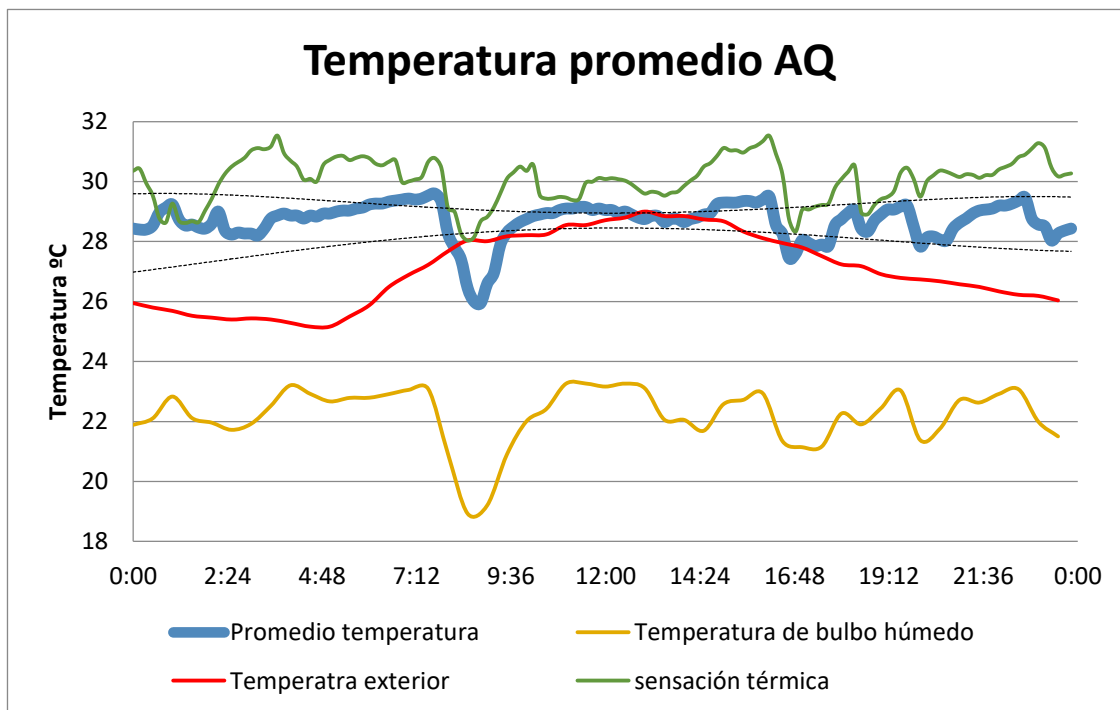
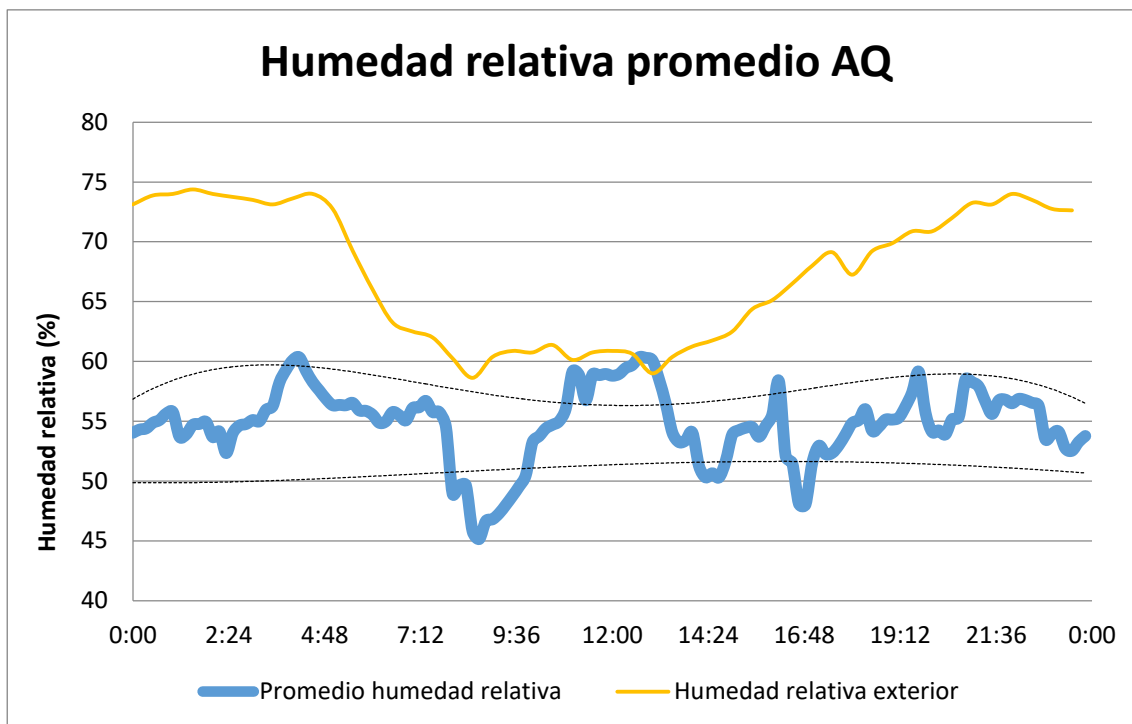
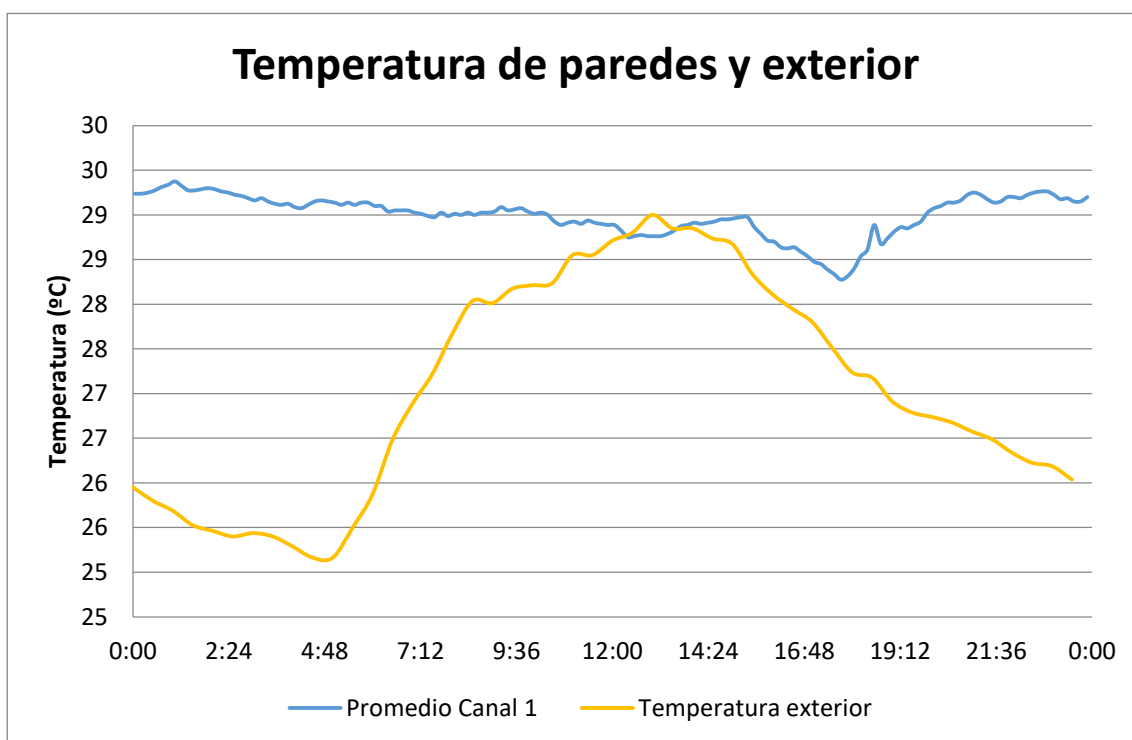


Figura 5.21. Temperatura promedio medida por medidor de calidad de aire, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)



**Figura 5.22.** Humedad promedio medida por el medidor de calidad de aire y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)



**Figura 5.23.** (Temperatura superficial de las paredes y temperatura exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)



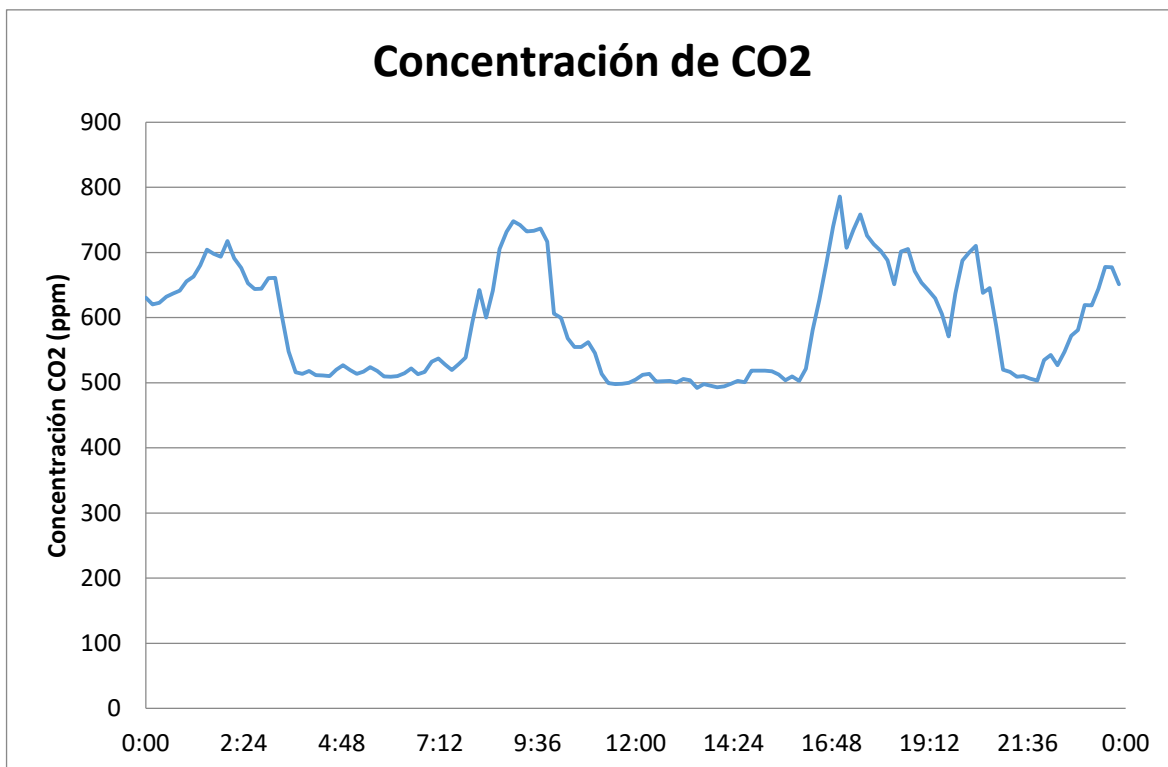


Figura 5.24. Concentración de CO2 medida por el monitor de calidad de aire (Fuente: Nil MOREU BARRA)

Niveles acusticos en fachada (2017)	dBA
Dia (7 a 21h)	59.80
Tarde (21 a 23h)	57.90
Noche (23 a 7h)	51.80
Promedio sonómetro	
Dia (7 a 21h)	40.43
Tarde (21 a 23h)	43.63
Noche (23 a 7h)	38.85

Figura 5.25. Promedios de ruido medido por el sonómetro y niveles acústicos en la fachada en 2017 (Fuente: Nil MOREU BARRA)

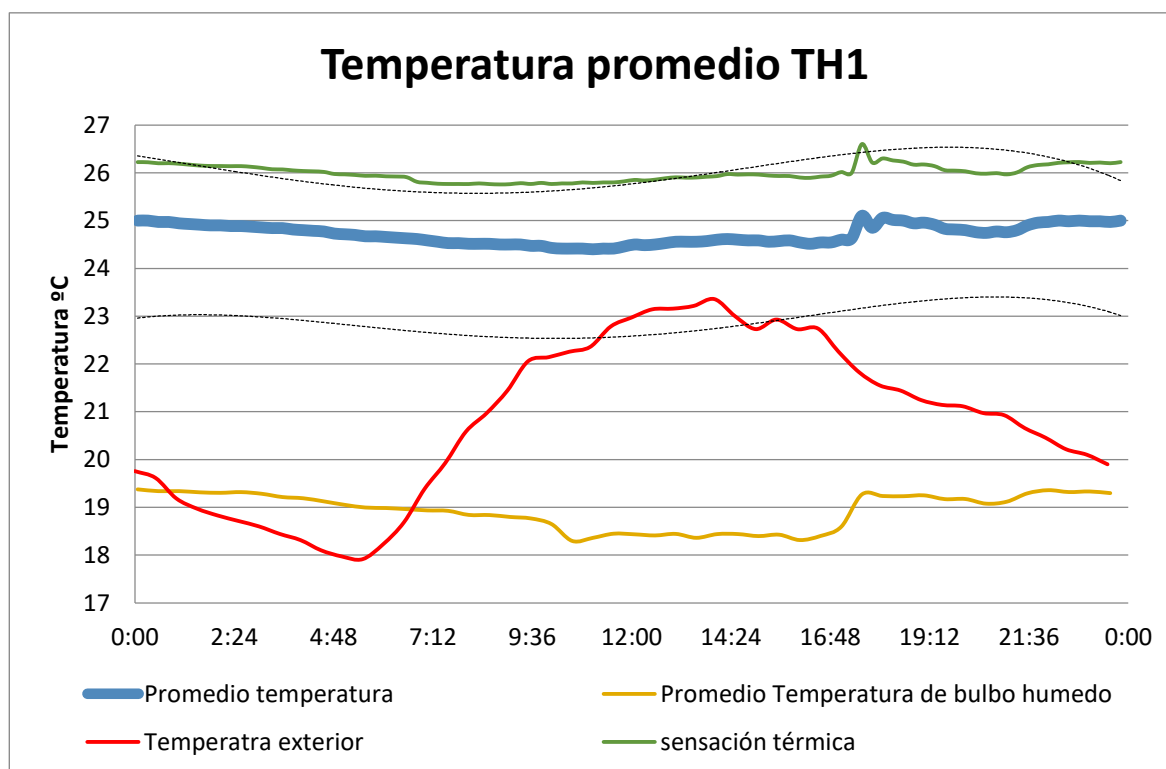
En este caso la temperatura se mantiene constante y no se ve afectada por la temperatura exterior, lo cual nos indica que puede ser un piso aclimatado.

Respecto a la calidad del aire en este caso se puede observar que la concentración de CO2 en el ambiente es la adecuada, ya que no se supera las 1000 ppm de CO2 y podemos considerar que el piso está bien ventilado.

En el caso del ruido, podemos observar que el ruido en el interior es ligeramente inferior al ruido exterior pero sobrepasa los 35 dB por el día y los 30 dB por la noche, superando el límite recomendado (15).

### 5.3. Elisabets 3

#### 5.3.1. Verano



**Figura 5.26.** Temperatura promedio medida por el termohigrómetro 1, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

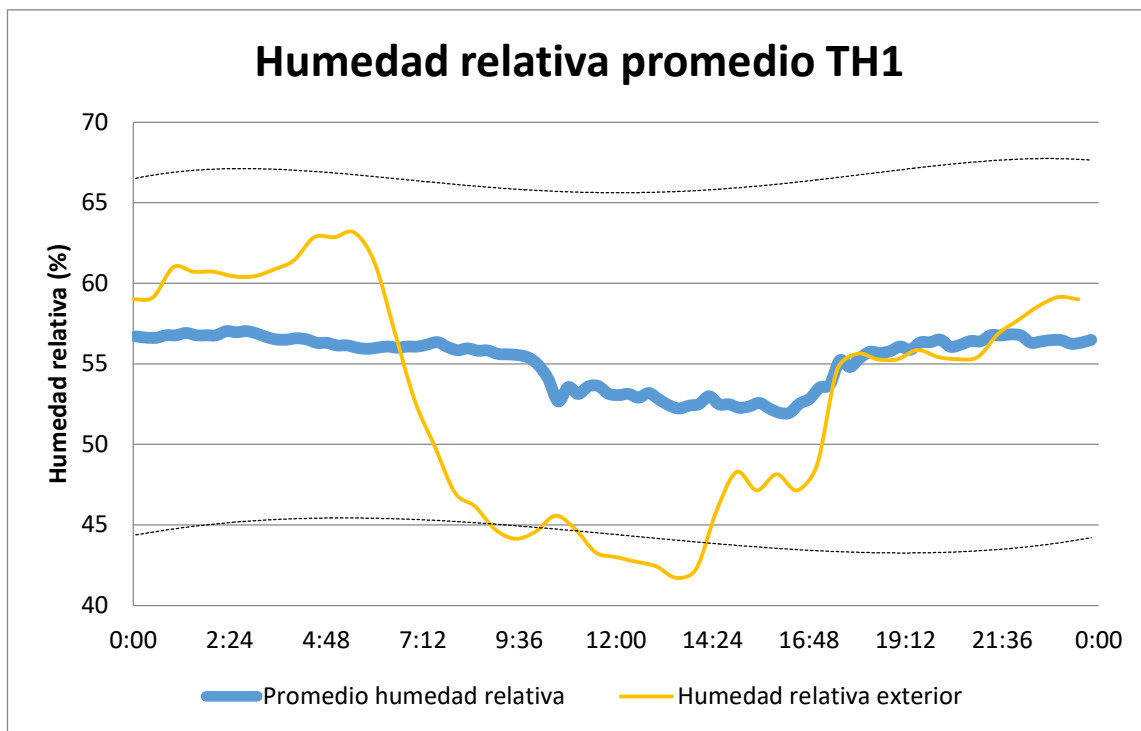


Figura 5.27. Humedad promedio medida por el termohigrómetro 1 y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

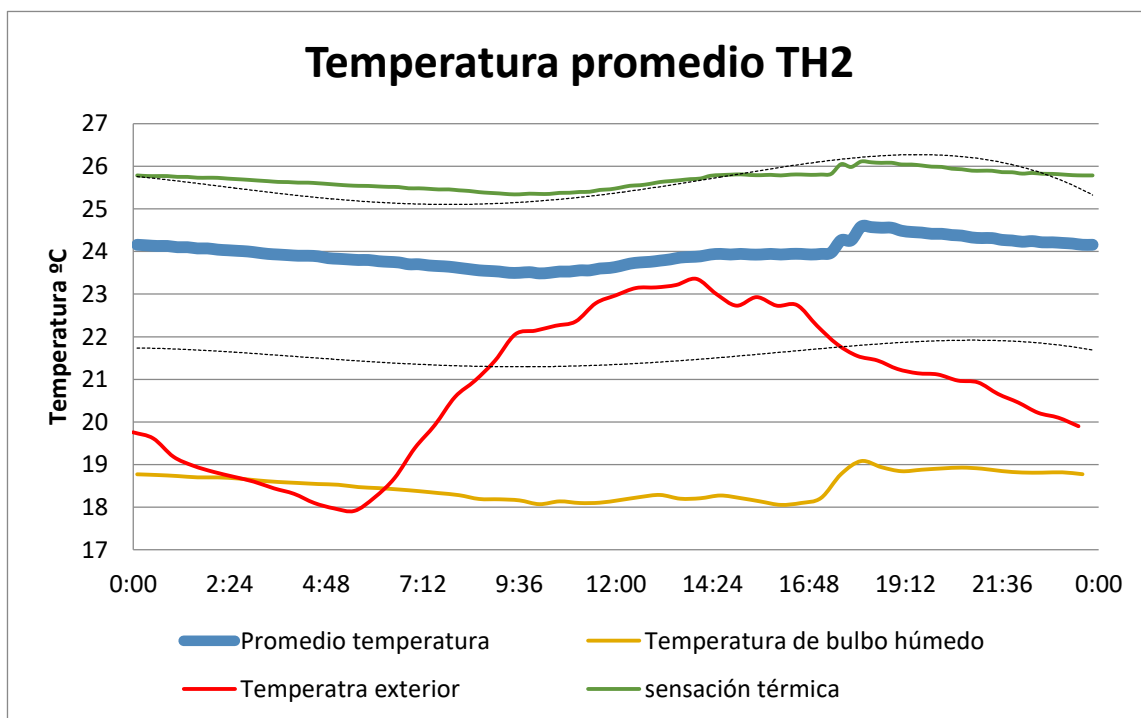


Figura 5.28. Temperatura promedio medida por el termohigrómetro 2, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

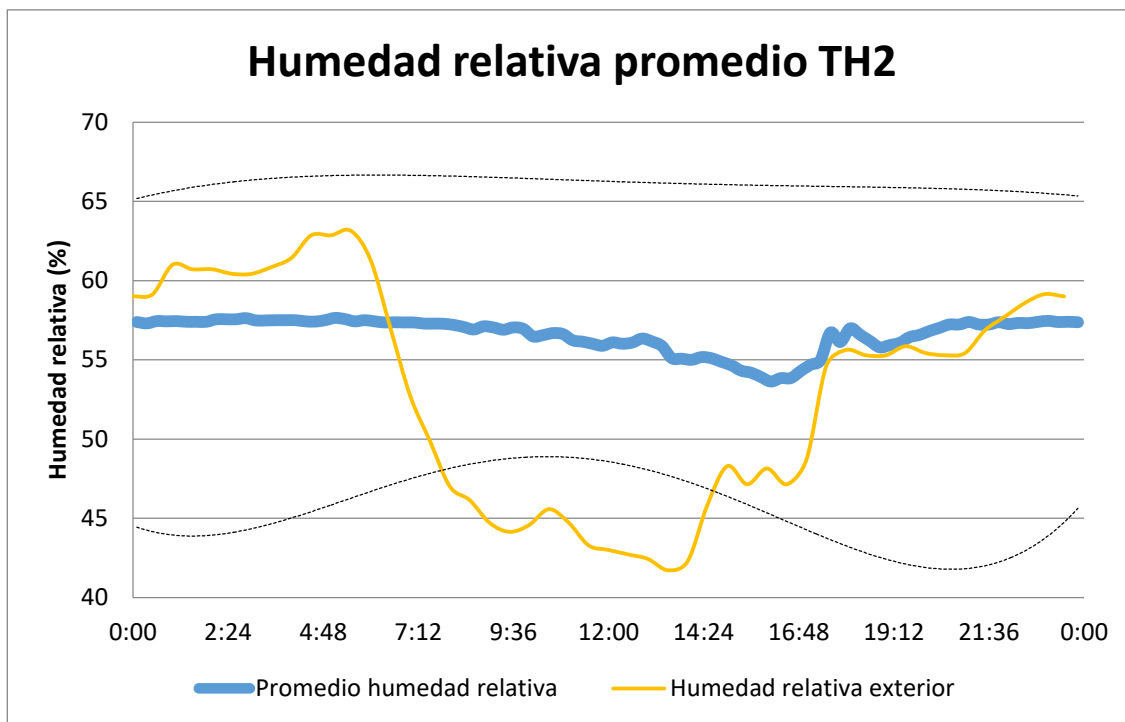


Figura 5.29. Humedad promedio medida por el termohigrómetro 2 y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

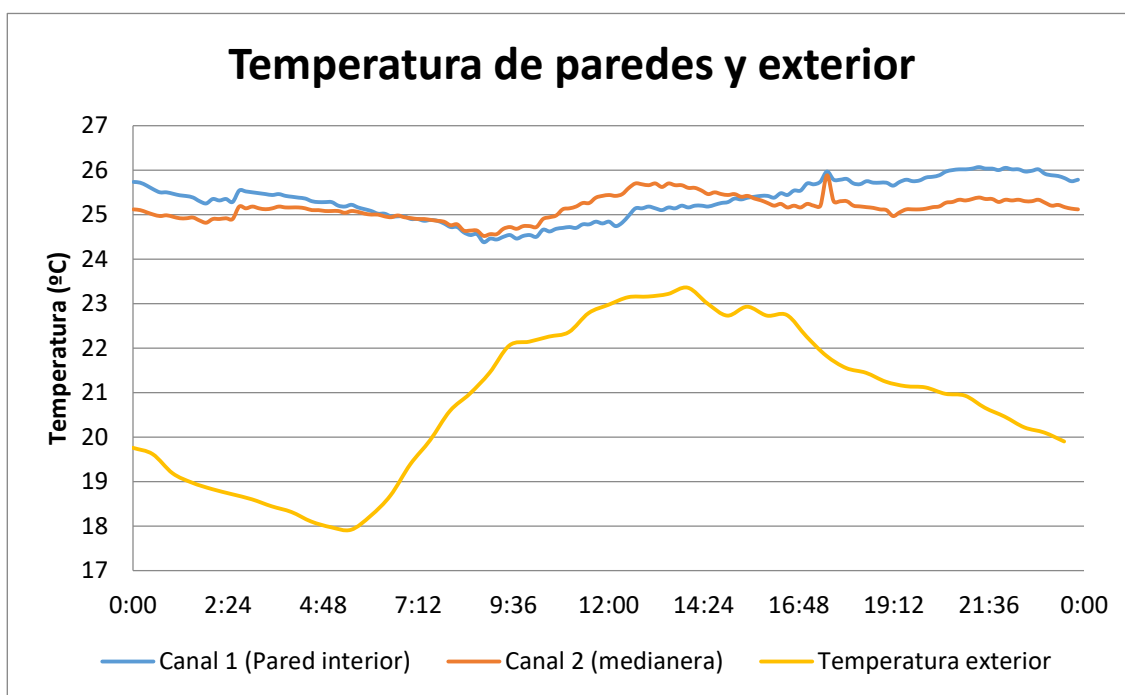


Figura 5.30. Temperatura superficial de las paredes y temperatura exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

En este caso la temperatura se mantiene constante y no se ve afectada por la temperatura exterior, lo cual nos indica que puede ser un piso aclimatado o bien aislado.

### 5.3.2. Invierno

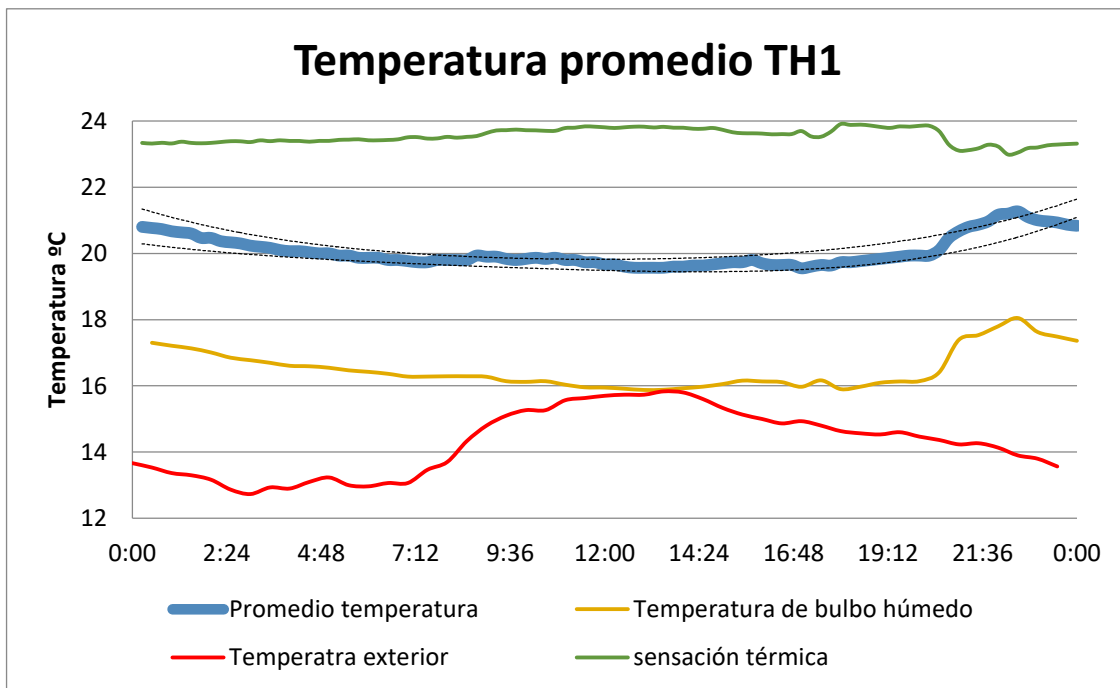


Figura 5.31. Temperatura promedio medida por el termohigrómetro 1, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

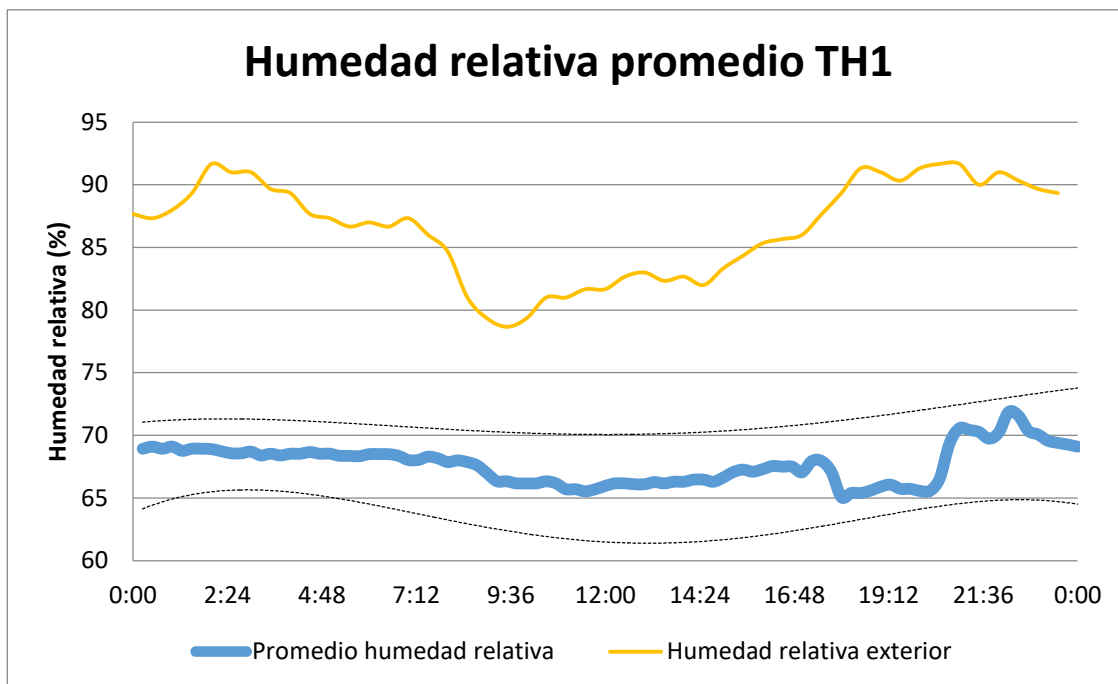


Figura 5.32. Humedad promedio medida por el termohigrómetro 1 y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

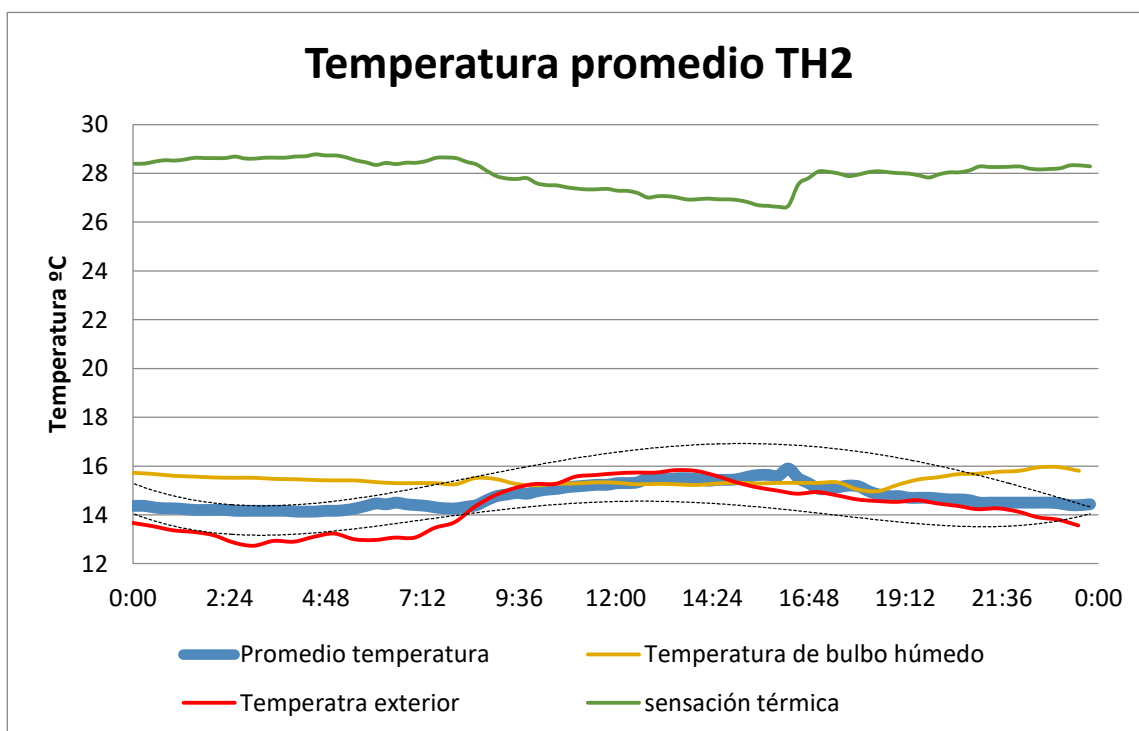


Figura 5.33. Temperatura promedio medida por el termohigrómetro 2, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

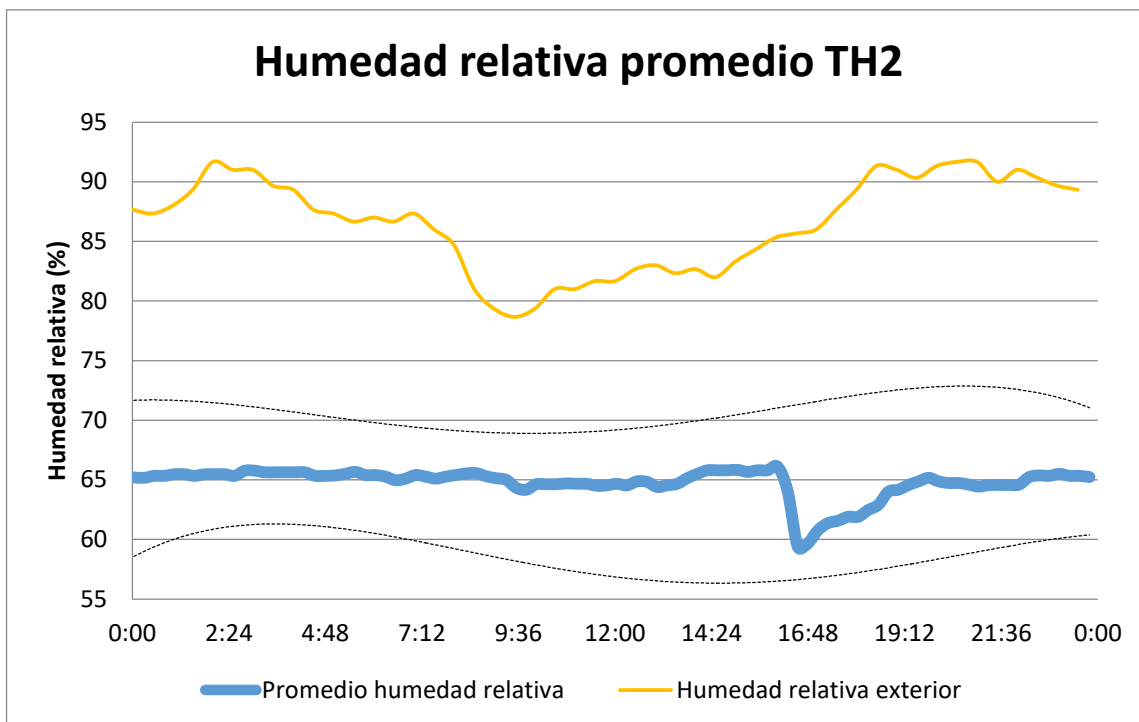


Figura 5.34. Humedad promedio medida por el termohigrómetro 2 y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

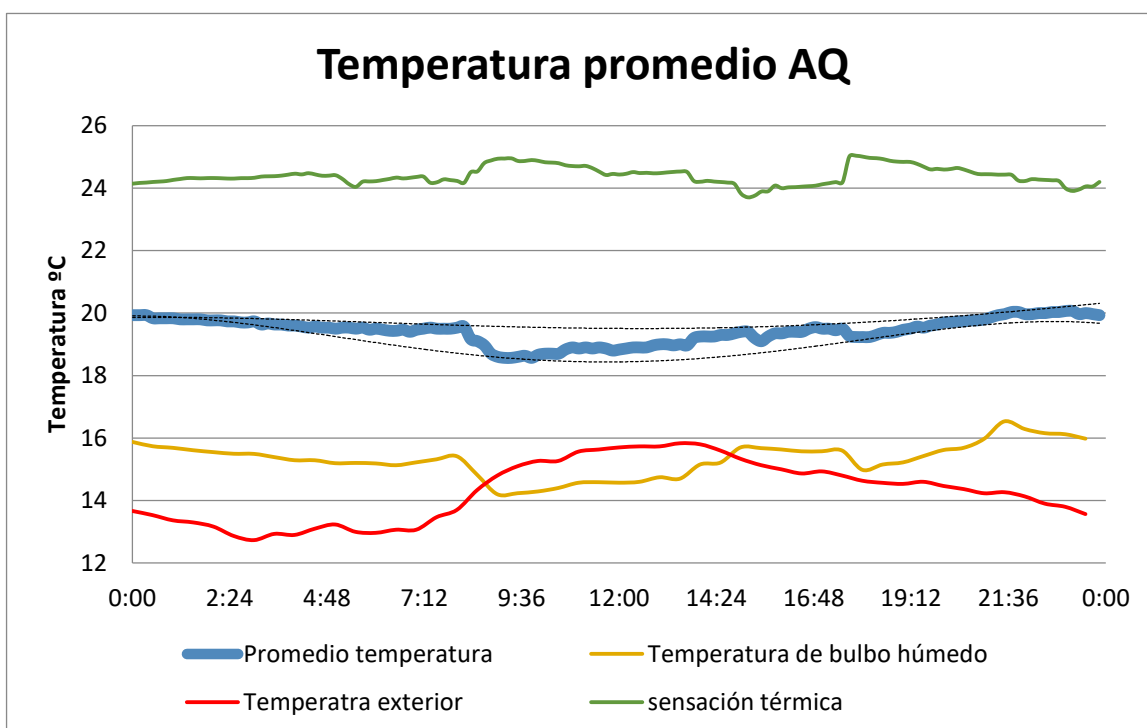


Figura 5.35. Temperatura promedio medida por medidor de calidad de aire, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica ((Fuente: Nil MOREU BARRA)

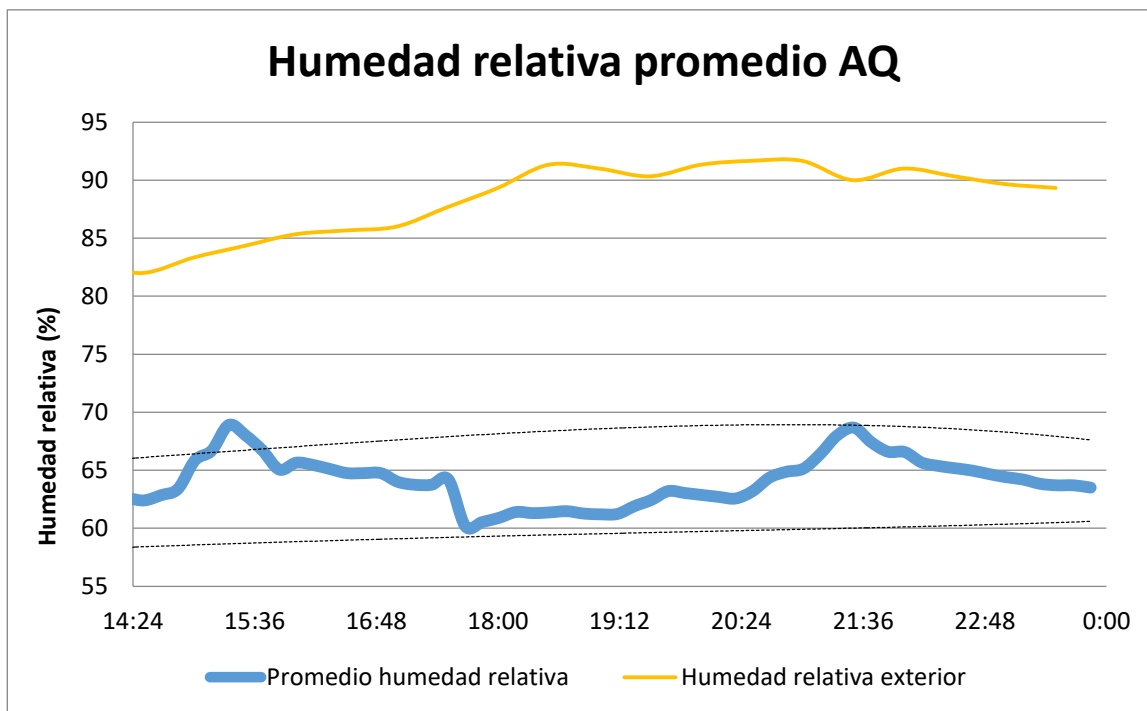


Figura 5.36. Humedad promedio medida por el medidor de calidad de aire y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

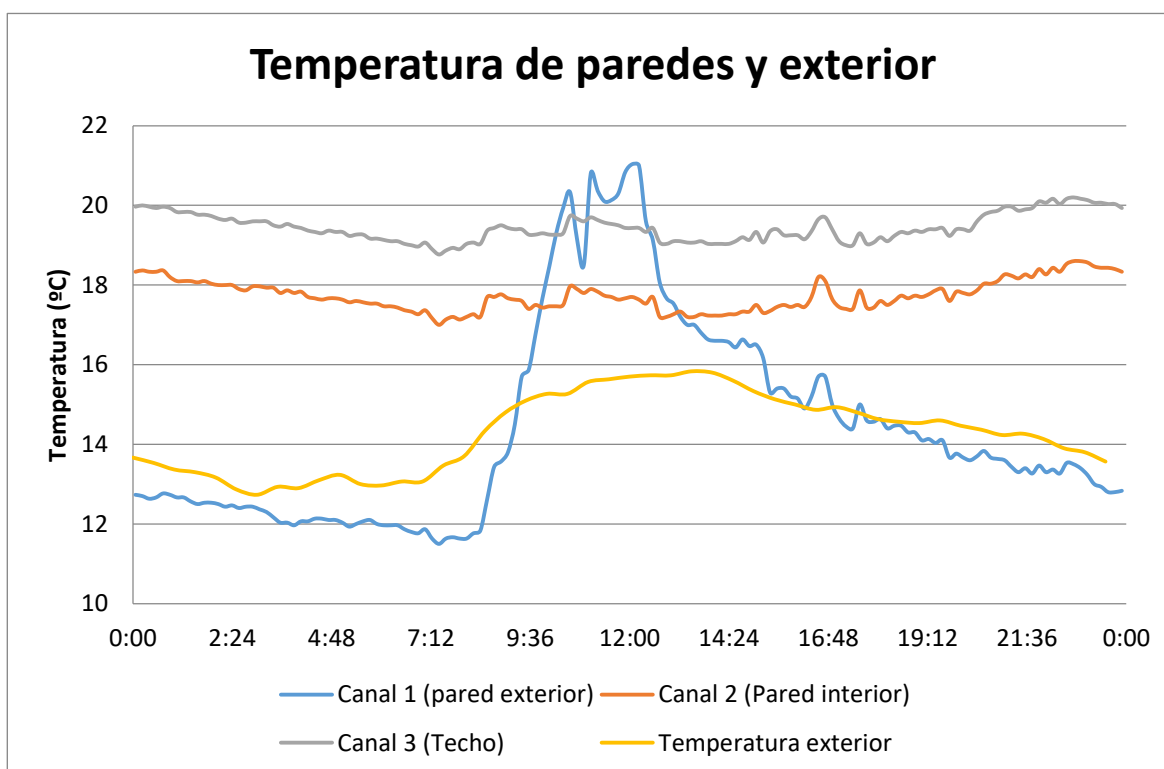


Figura 5.37 Temperatura superficial de las paredes y temperatura exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)



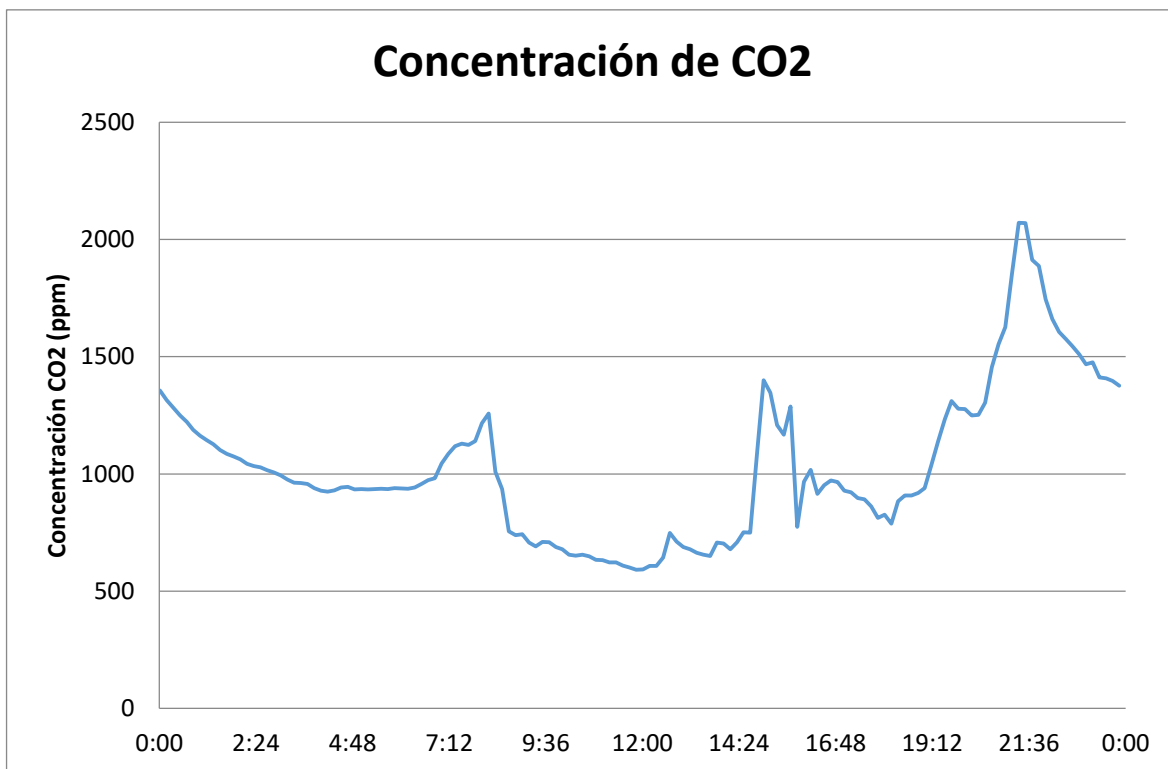


Figura 5.38. Concentración de CO2 medida por el monitor de calidad de aire (Fuente: Nil MOREU BARRA)

Niveles acusticos en fachada (2017)	dBA
Dia (7 a 21h)	60.50
Tarde (21 a 23h)	60.50
Noche (23 a 7h)	59.20
Promedio sonómetro	
Dia (7 a 21h)	38.66
Tarde (21 a 23h)	39.15
Noche (23 a 7h)	37.33

Figura 5.39. Promedios de ruido medido por el sonómetro y niveles acústicos en la fachada en 2017 (Fuente: Nil MOREU BARRA)

En este caso, también se ha medido el flujo de calor y la temperatura exterior e interior de una pared, por lo que con estos datos se ha podido calcular la resistencia térmica de la pared con la siguiente ecuación:

$$R_T = \frac{\Delta T}{\dot{Q}} \tag{Eq. 5.2}$$

Siendo:

- $R_T$ : Resistencia térmica en  $m^2 \cdot K/W$
- $\Delta T$ : Diferencia de temperatura entre la superficie del exterior e interior.
- $Q$ : Flujo de calor en  $W/m^2$

Si se hace un promedio de todos los resultados para cada instante de tiempo que hemos medido, en la pared de este piso se obtiene:

$$R_T = 0,0584 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad (\text{Eq. 5.3})$$

En este caso, podemos observar una gran diferencia entre las temperaturas del termohigrómetro 1 (TH1) y el termohigrómetro 2 (TH2), ya que en el primer caso, no hay gran diferencia entre la temperatura medida por el aparato y la sensación térmica, pero en el segundo caso, se puede apreciar una diferencia de hasta 14 °C de diferencia entre la temperatura medida y la sensación térmica.

También se confirma que, como en la campaña de verano, la temperatura interior no se ve excesivamente afectada por la temperatura exterior.

También podemos observar como la temperatura de la pared exterior, experimenta un gran cambio de temperatura provocado por la radiación solar. Este gran cambio no se ve afectado en la parte del interior de la pared.

Los niveles de CO2 por el día no superan el límite de las 1000 ppm, pero por la noche, este límite se ve superado por una posible falta de ventilación.

El ruido en este caso se ve una gran diferencia entre el interior y el exterior, y en el interior se acerca a los límites recomendados de 30 dB por el día y los 35 dB por la noche.

## 5.4. Sant Vicenç 28

### 5.4.1. Verano

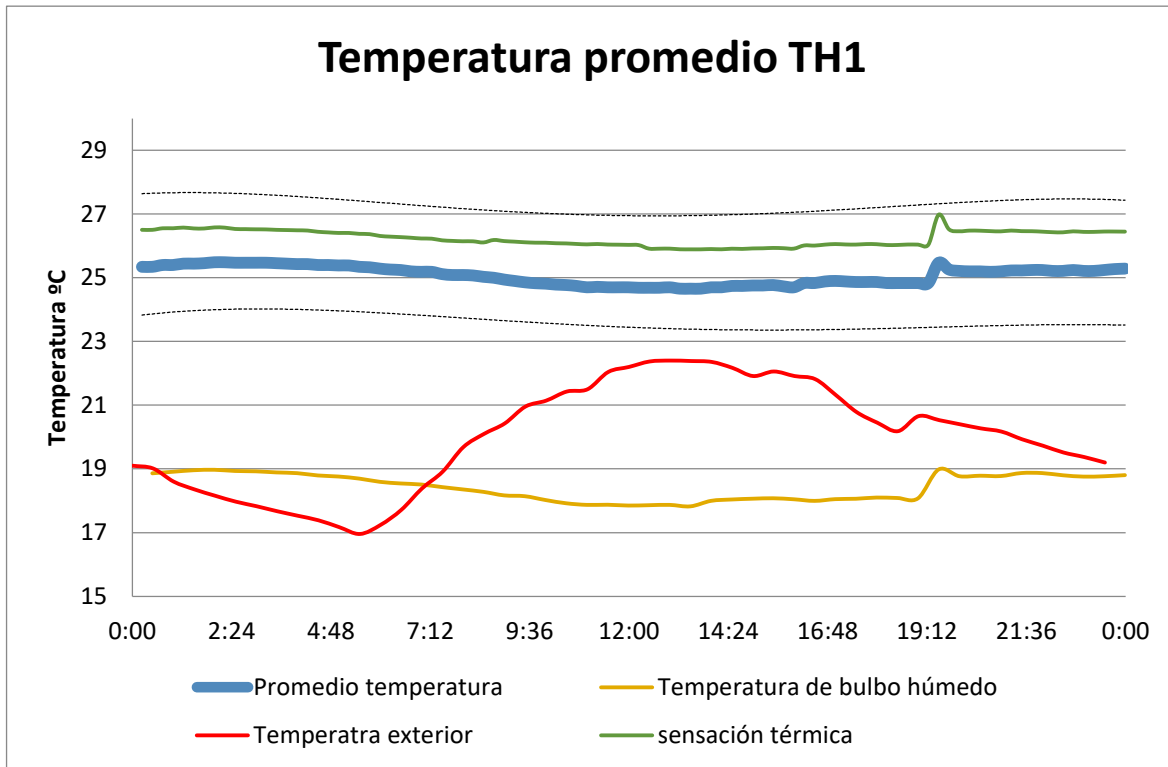
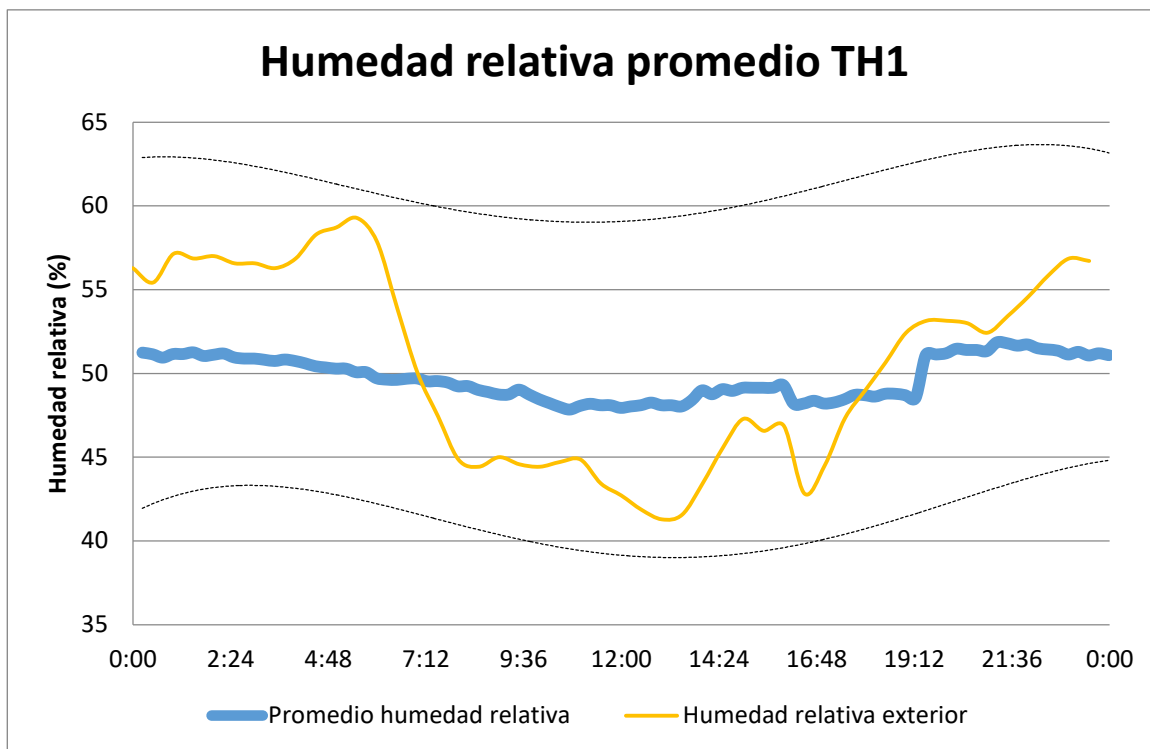
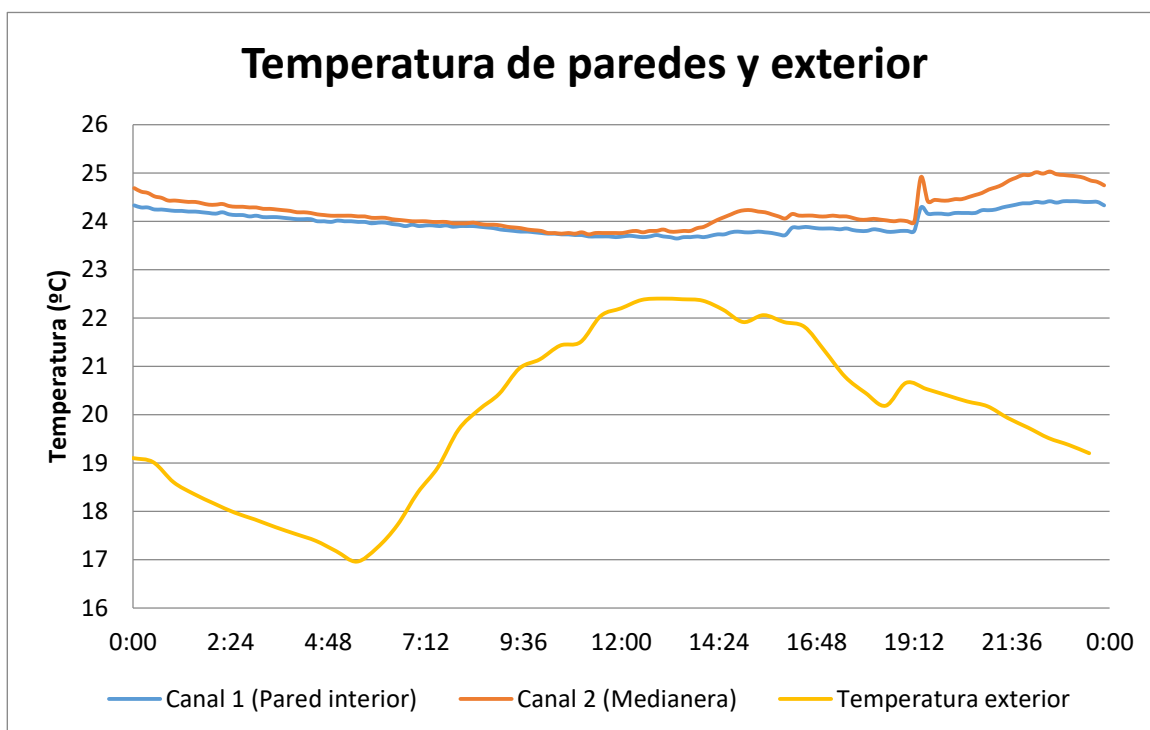


Figura 5.40. Temperatura promedio medida por el termohigrómetro 1, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)



**Figura 5.41** Humedad promedio medida por el termohigrómetro 1 y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)



**Figura 5.42.** Temperatura superficial de las paredes y temperatura exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

Niveles acusticos en fachada (2017)	dBA
Dia (7 a 21h)	64.60
Tarde (21 a 23h)	62.70
Noche (23 a 7h)	57.30
Promedio sonómetro	
Dia (7 a 21h)	50.39
Tarde (21 a 23h)	51.02
Noche (23 a 7h)	34.16

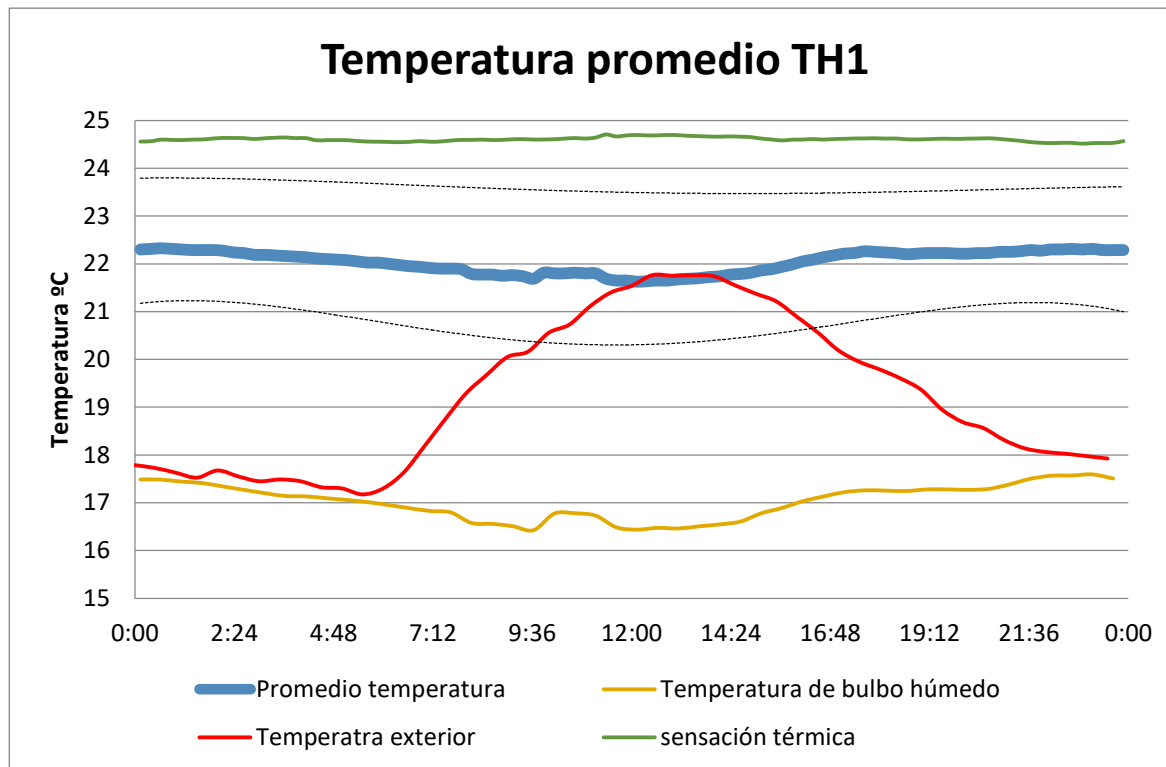
**Figura 5.43.** Promedios de ruido medido por el sonómetro y niveles acústicos en la fachada en 2017 (Fuente: Nil MOREU BARRA)

En esta vivienda, la temperatura es muy constante durante todo el día y la sensación térmica se aproxima a la temperatura de bulbo seco.

En cuanto al ruido, durante el día hay un excesivo ruido, pero por la noche se ve drásticamente reducido.

## 5.5. Junta de Comerç 14

### 5.5.1. Verano



**Figura 5.44.** Temperatura promedio medida por el termohigrómetro 1, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

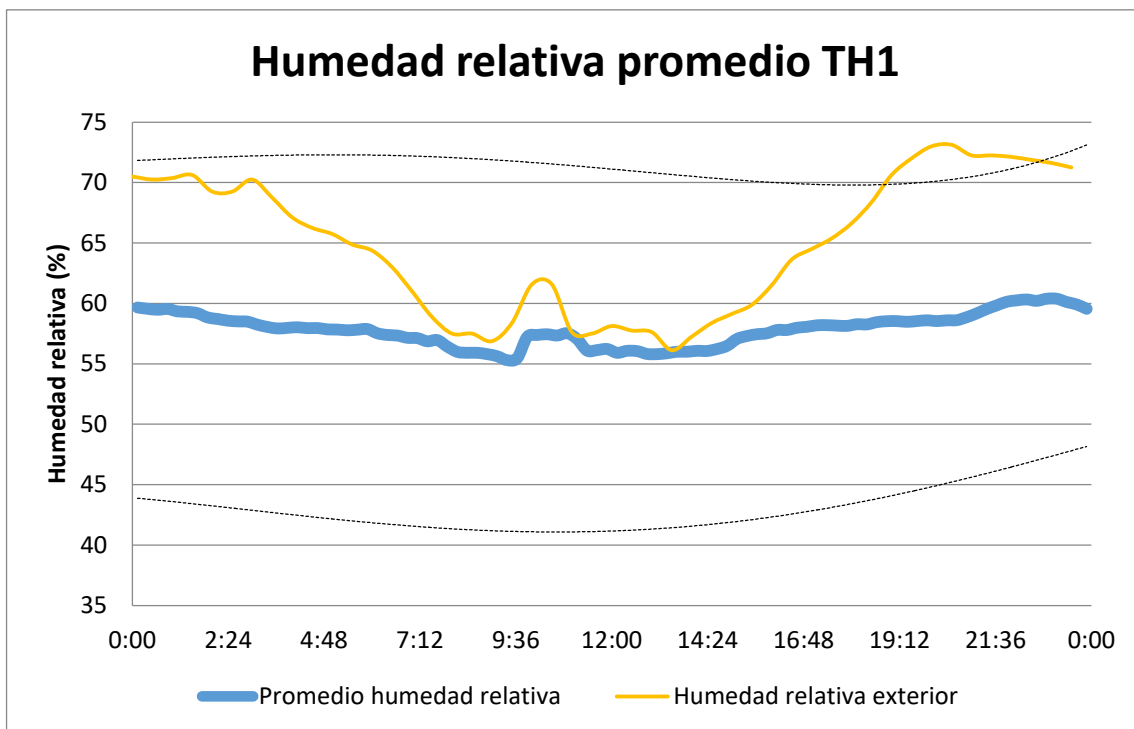


Figura 5.45. Humedad promedio medida por el termohigrómetro 2 y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

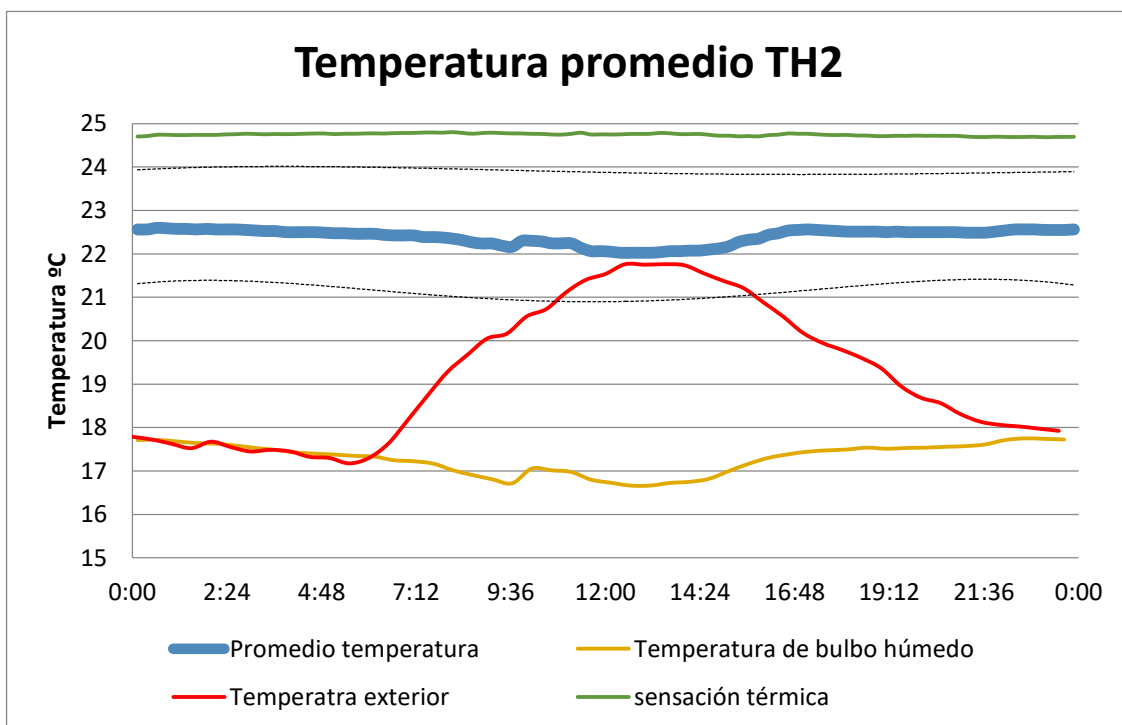


Figura 5.46. Temperatura promedio medida por el termohigrómetro 2, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

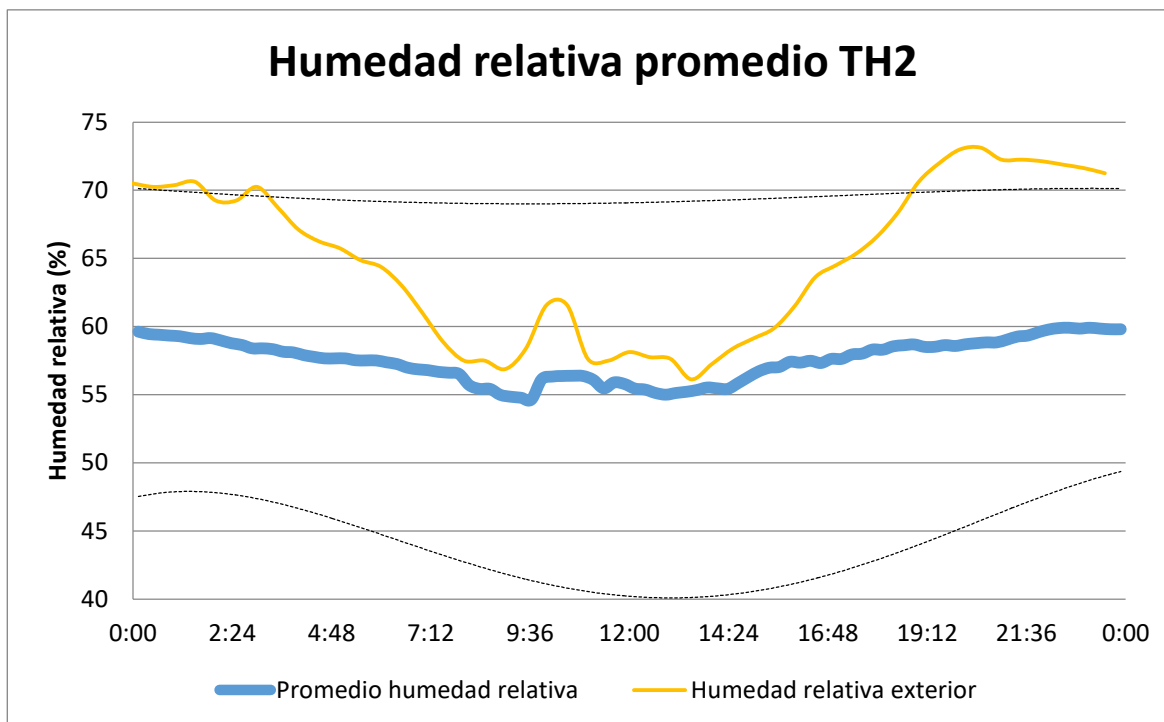


Figura 5.47. Humedad promedio medida por el termohigrómetro 2 y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

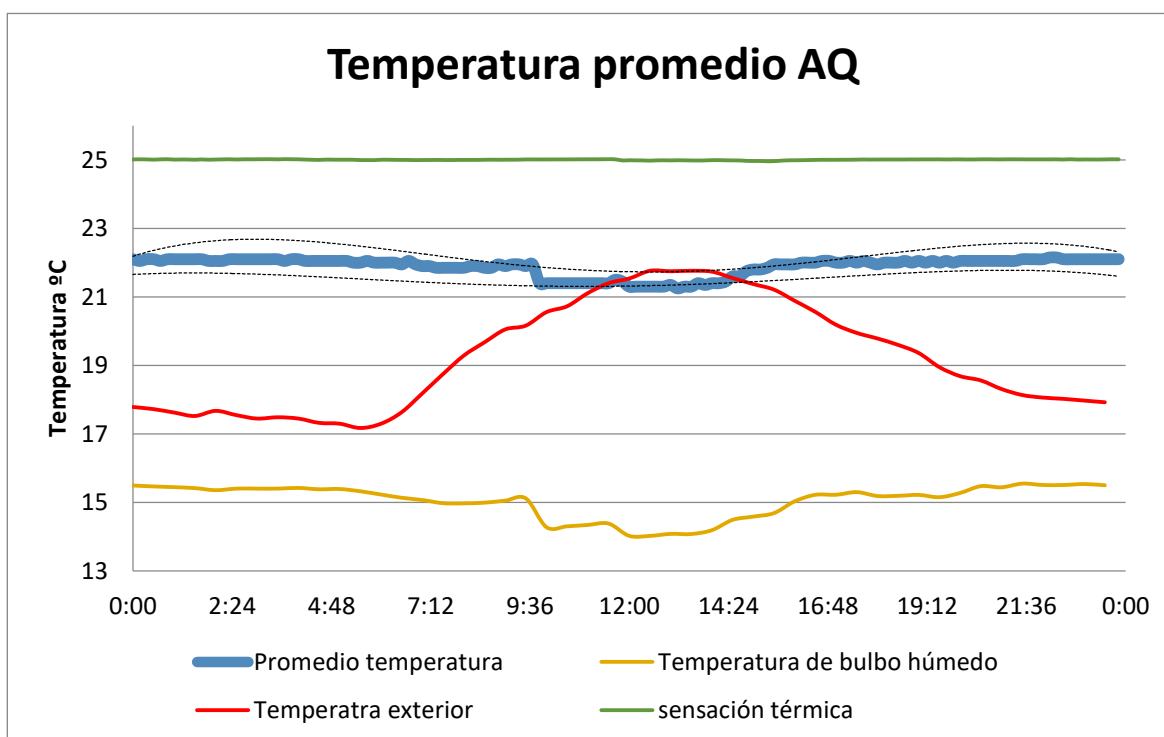


Figura 5.48. Temperatura promedio medida por medidor de calidad de aire, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica ((Fuente: Nil MOREU BARRA)



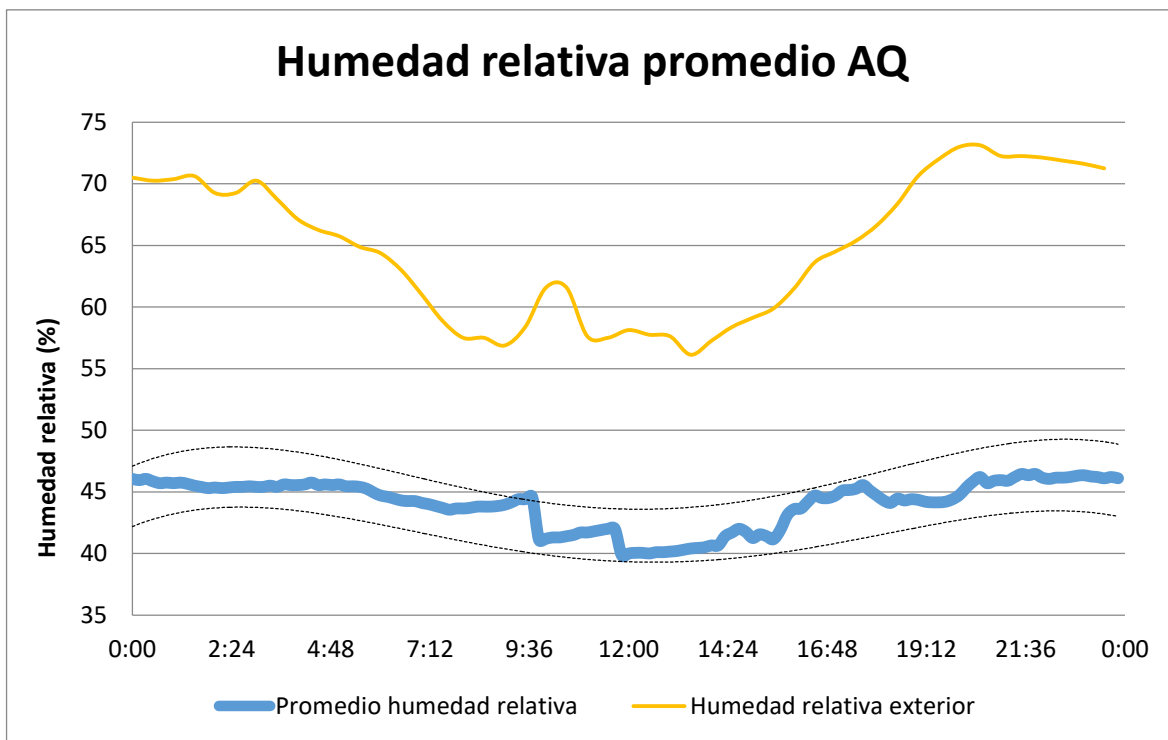


Figura 5.49. Humedad promedio medida por el medidor de calidad de aire y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

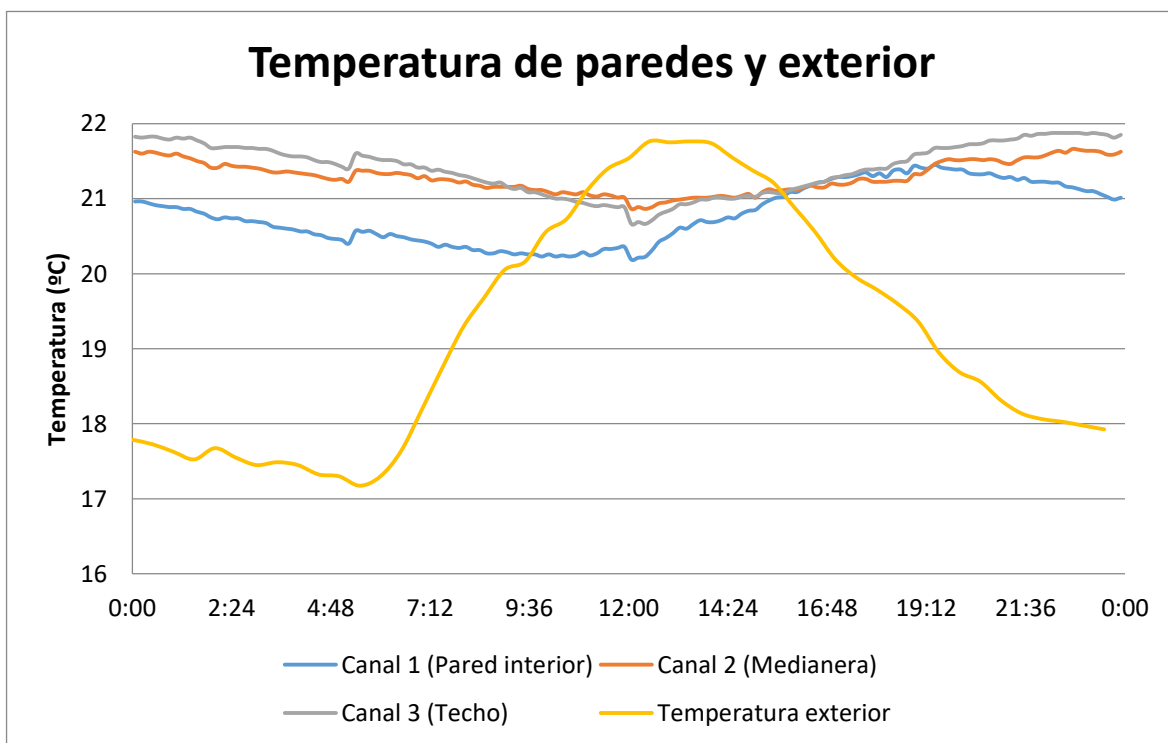


Figura 5.50. Temperatura superficial de las paredes y temperatura exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

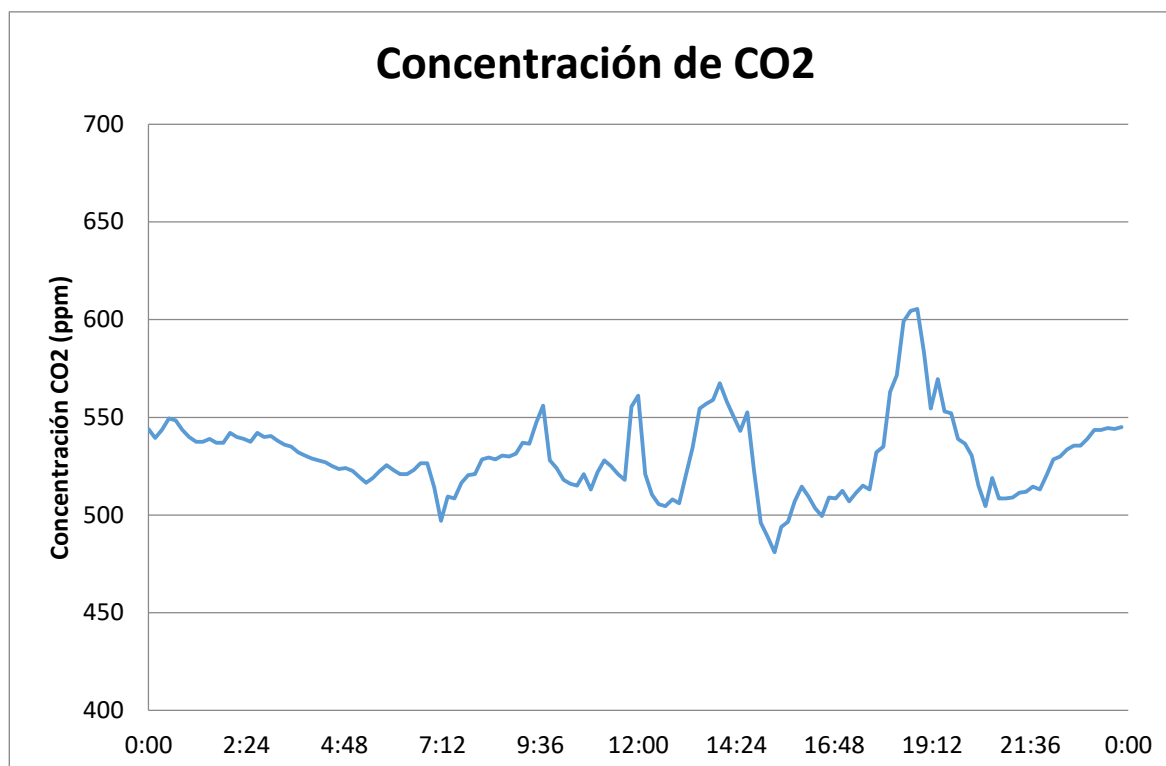


Figura 5.51. Concentración de CO2 medida por el monitor de calidad de aire (Fuente: Nil MOREU BARRA)

Niveles acusticos en fachada (2017)	dBA
Dia (7 a 21h)	54.90
Tarde (21 a 23h)	53.00
Noche (23 a 7h)	54.30
Promedio sonómetro	
Dia (7 a 21h)	43.30
Tarde (21 a 23h)	
Noche (23 a 7h)	

Figura 5.52. Promedios de ruido medido por el sonómetro y niveles acústicos en la fachada en 2017 (Fuente: Nil MOREU BARRA)

En este caso la temperatura se mantiene constante y no se ve afectada por la temperatura exterior, lo cual nos indica que puede ser un piso aclimatado.

Respecto a la calidad del aire en este caso se puede observar que la concentración de CO2 en el ambiente es la adecuada, ya que no se supera las 1000 ppm de CO2 y podemos considerar que el piso está bien ventilado.

En el caso del ruido, podemos observar que el ruido en el interior es ligeramente inferior al ruido exterior pero sobrepasa los 35 dB por el día superando el límite recomendado (15).

## 5.6. Sant Ramon 2 - 1

### 5.6.1. Verano

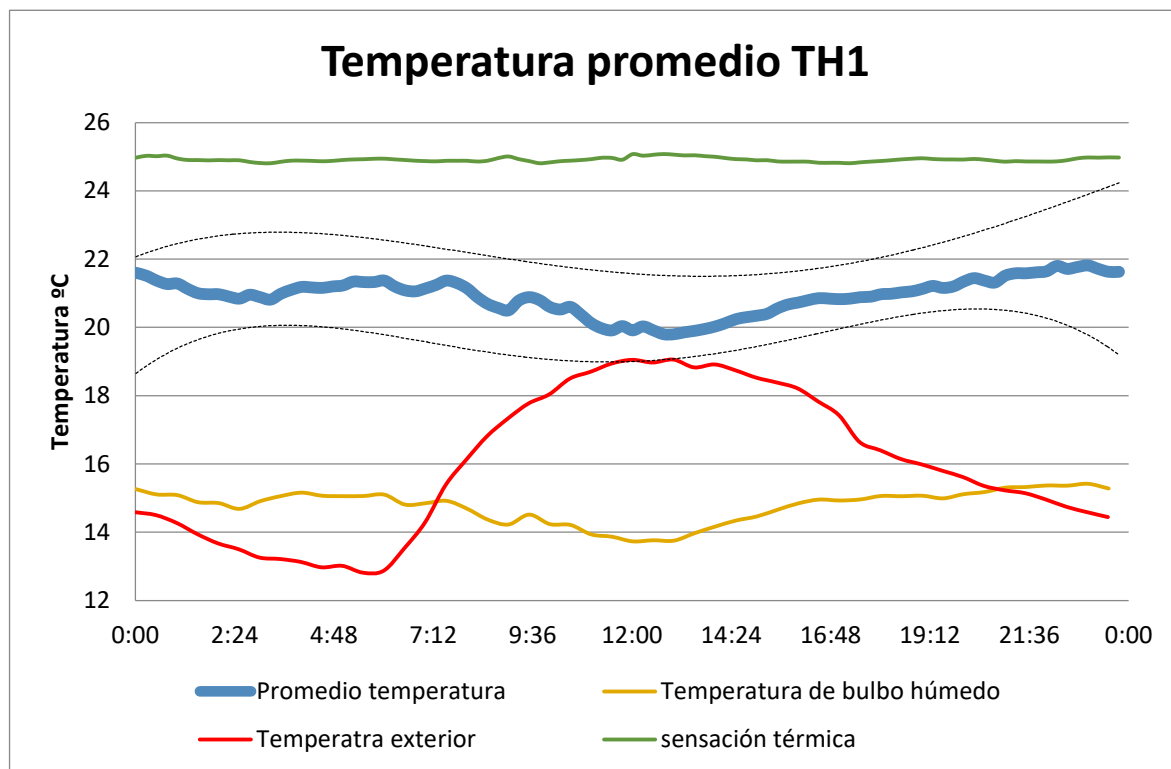


Figura 5.53. Temperatura promedio medida por el termohigrómetro 1, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

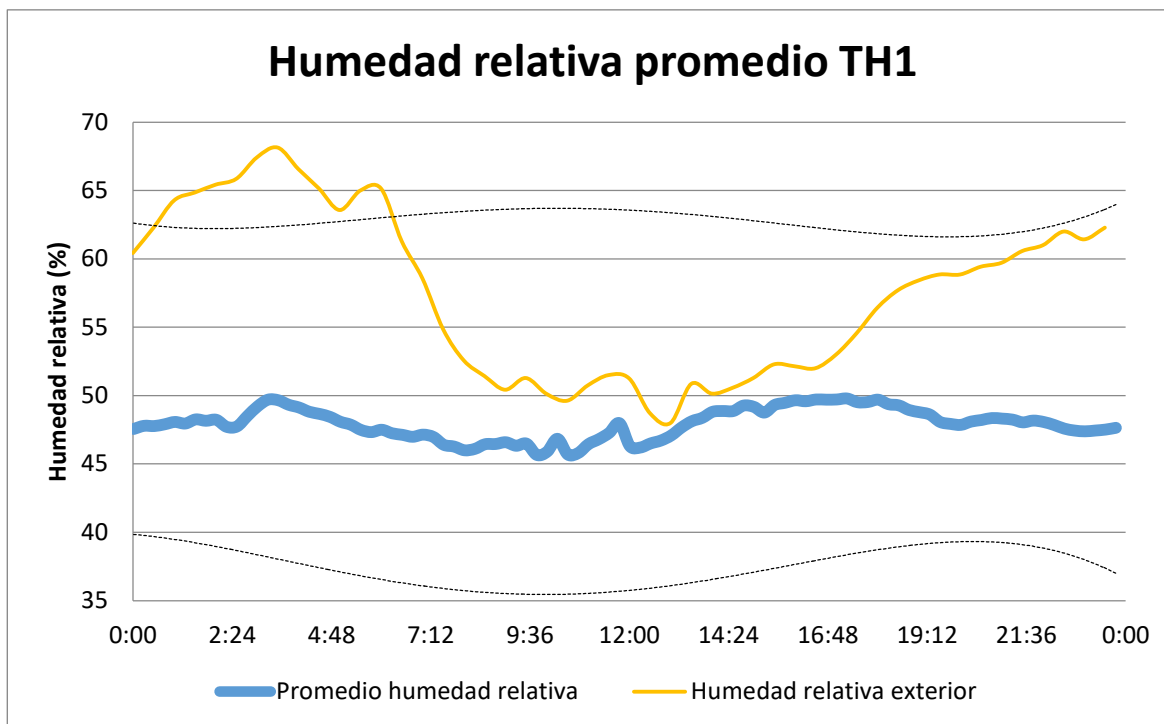


Figura 5.54. Humedad promedio medida por el termohigrómetro 1 y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

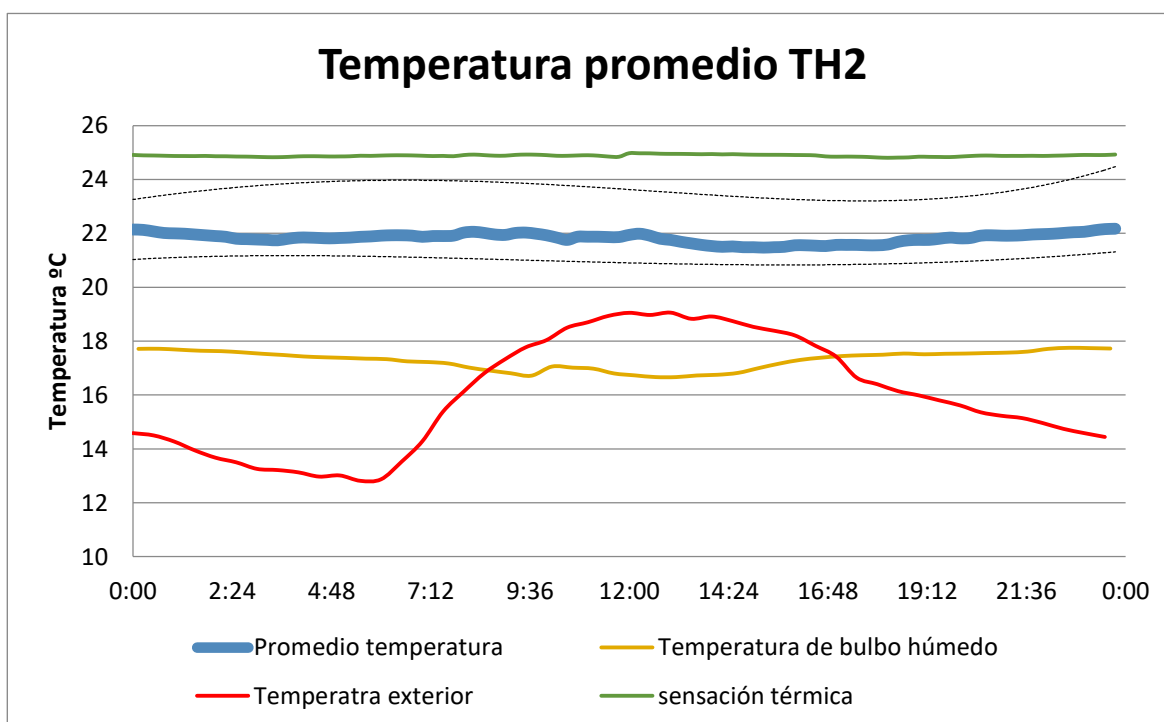


Figura 5.55. Temperatura promedio medida por el termohigrómetro 2, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

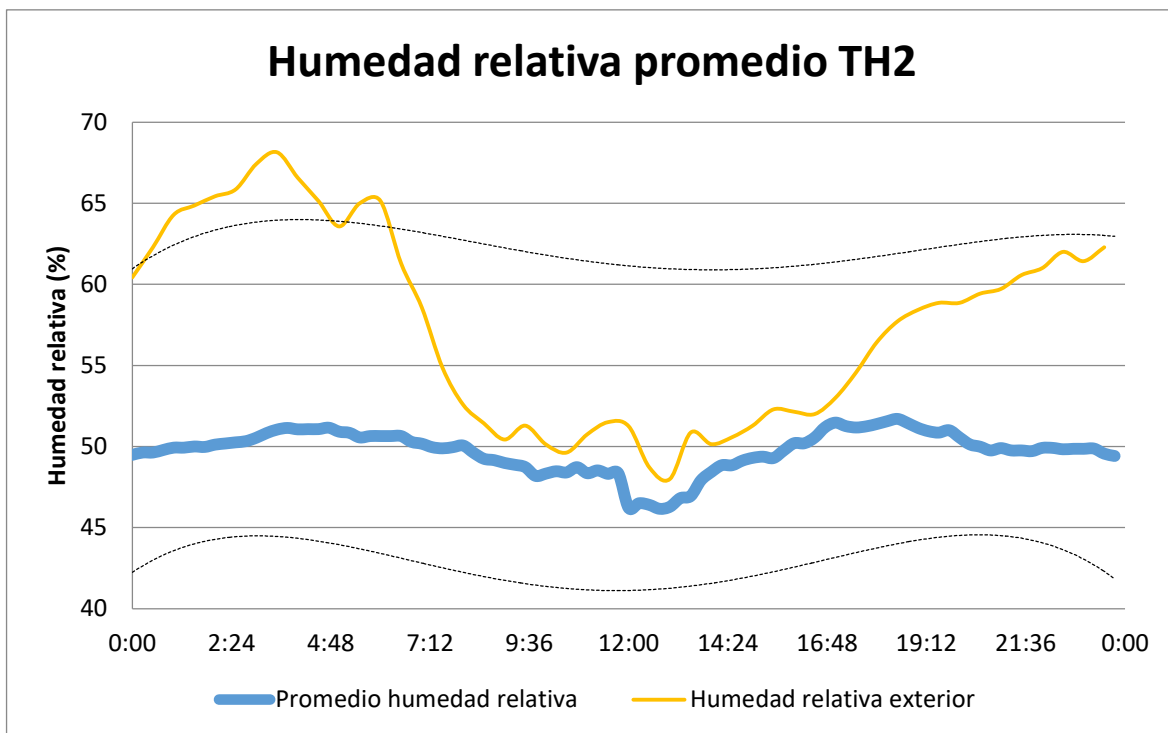


Figura 5.56. Humedad promedio medida por el termohigrómetro 2 y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

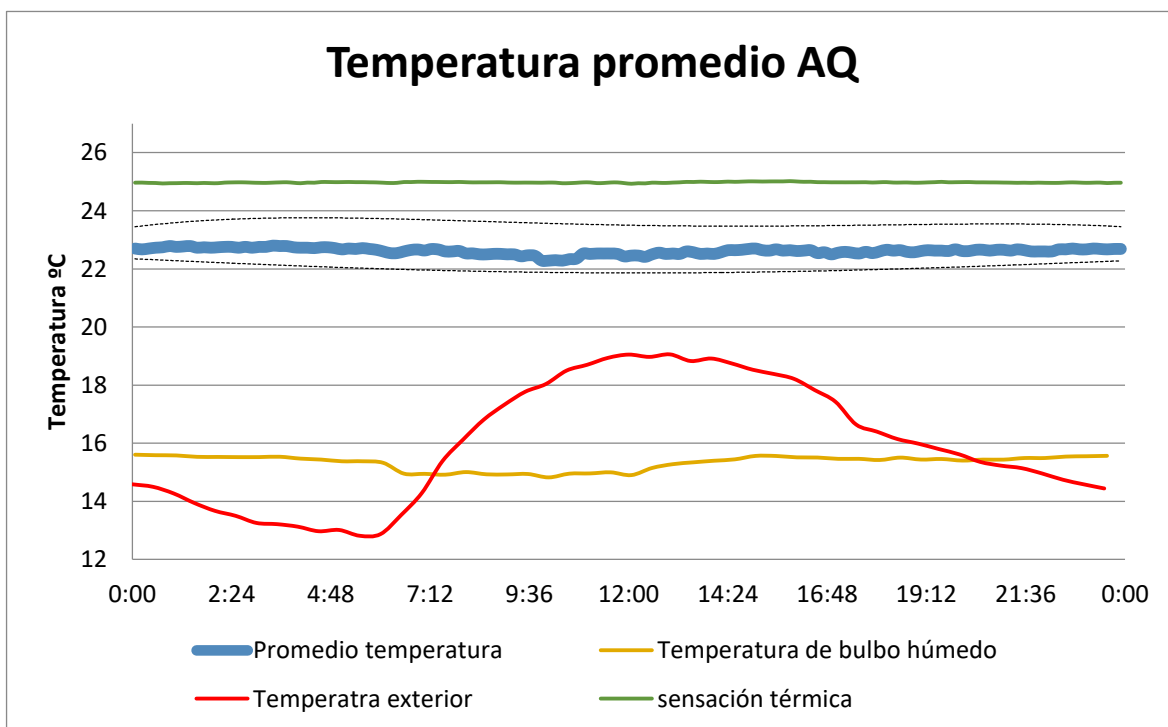


Figura 5.57. Temperatura promedio medida por medidor de calidad de aire, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

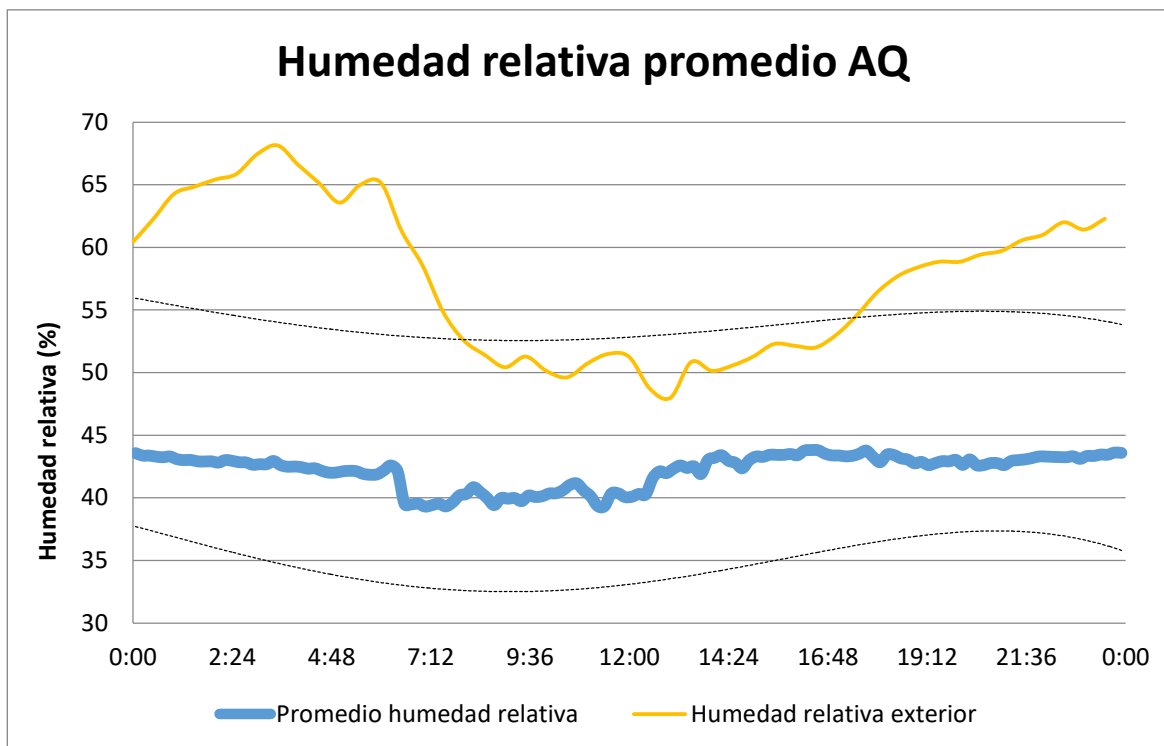


Figura 5.58. Humedad promedio medida por el medidor de calidad de aire y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

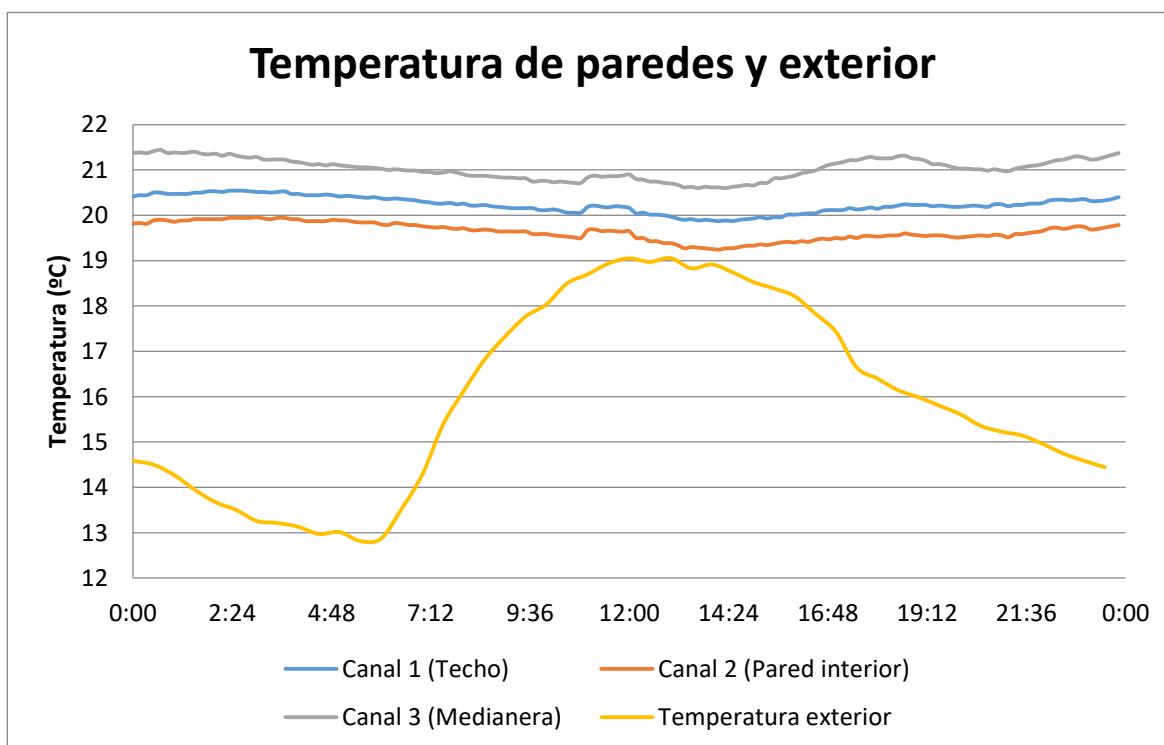


Figura 5.59. Temperatura superficial de las paredes y temperatura exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

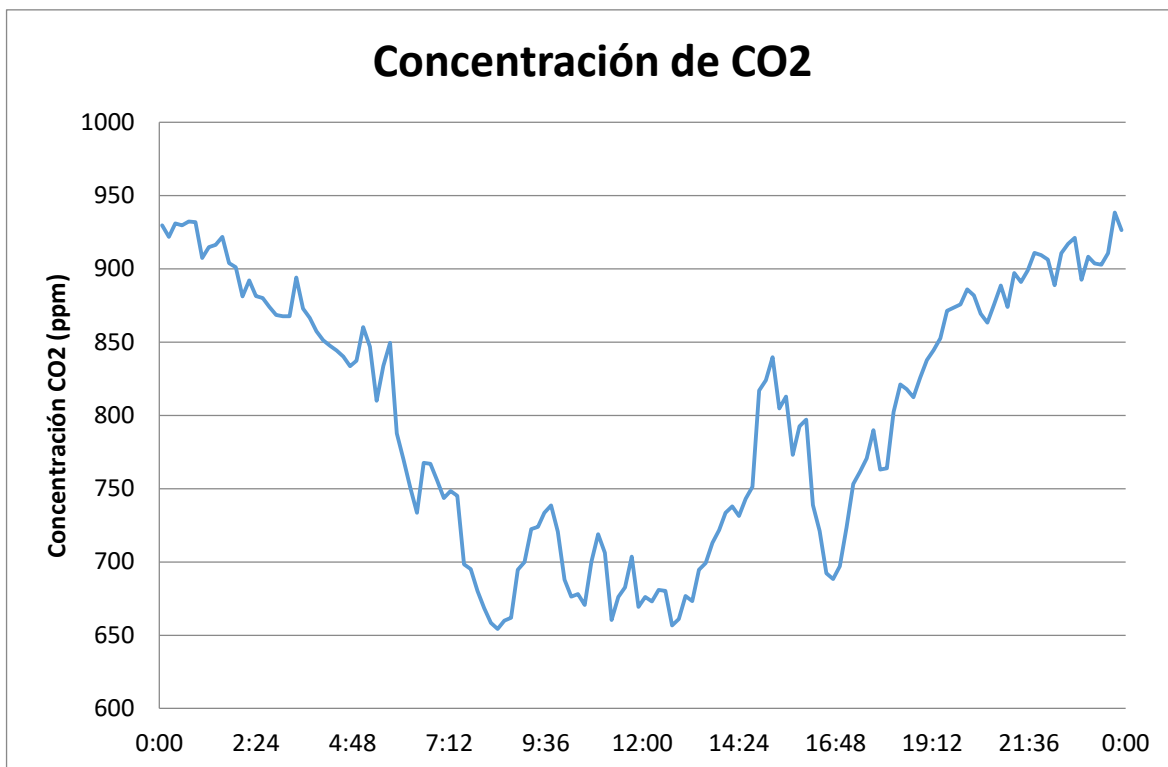


Figura 5.60. Concentración de CO2 medida por el monitor de calidad de aire (Fuente: Nil MOREU BARRA)

Niveles acusticos en fachada (2017)	dBA
Dia (7 a 21h)	61.00
Tarde (21 a 23h)	59.90
Noche (23 a 7h)	56.30
Promedio sonómetro	
Dia (7 a 21h)	38.36
Tarde (21 a 23h)	
Noche (23 a 7h)	

Figura 5.61. Promedios de ruido medido por el sonómetro y niveles acústicos en la fachada en 2017 (Fuente: Nil MOREU BARRA)

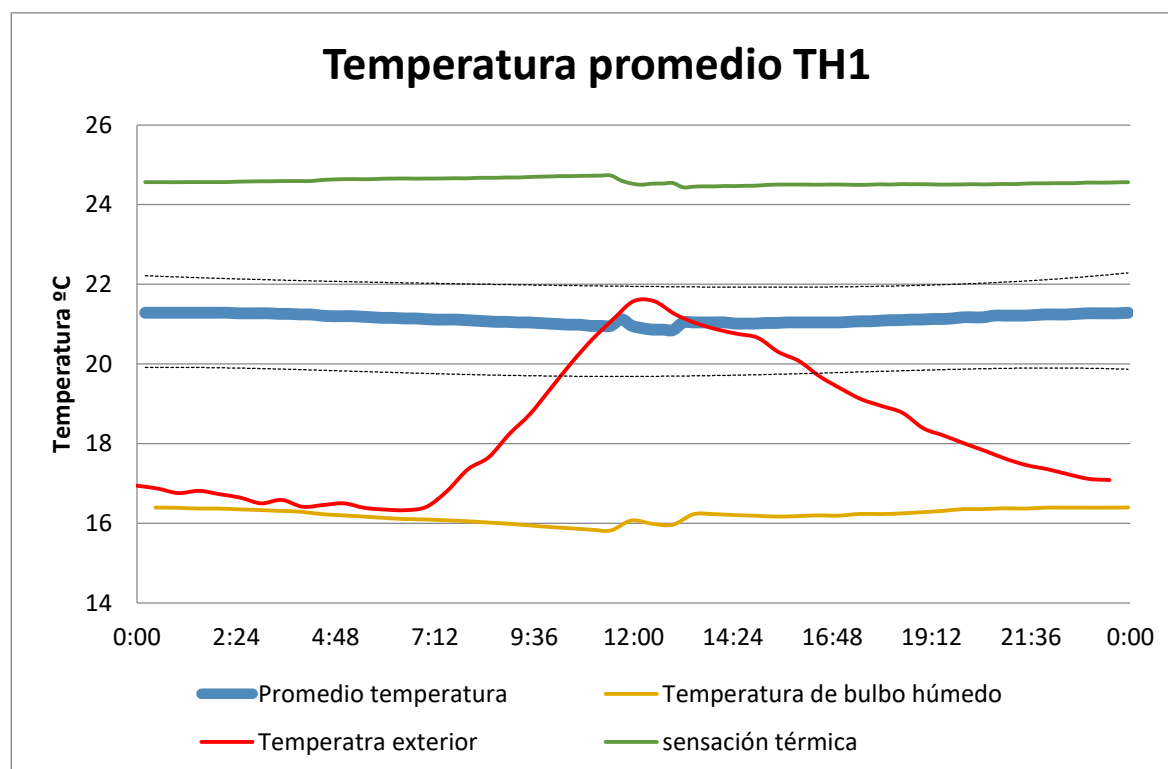
En este caso la temperatura en el interior también permanece constante y no incrementa grandes cambios.

También se puede observar como la temperatura del techo es más alta a la temperatura de las paredes, esto se debe a que el aire caliente es menos denso que el aire frío y por tanto este sube.

Respecto a la calidad del aire en este caso se puede observar que la concentración de CO<sub>2</sub> en el ambiente no se supera las 1000 ppm de CO<sub>2</sub>, pero no llega a las 400 ppm recomendadas para la salud.

## 5.7. Sant Ramon 2 – 2

### 5.7.1. Verano



**Figura 5.62.** Temperatura promedio medida por el termohigrómetro 1, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)



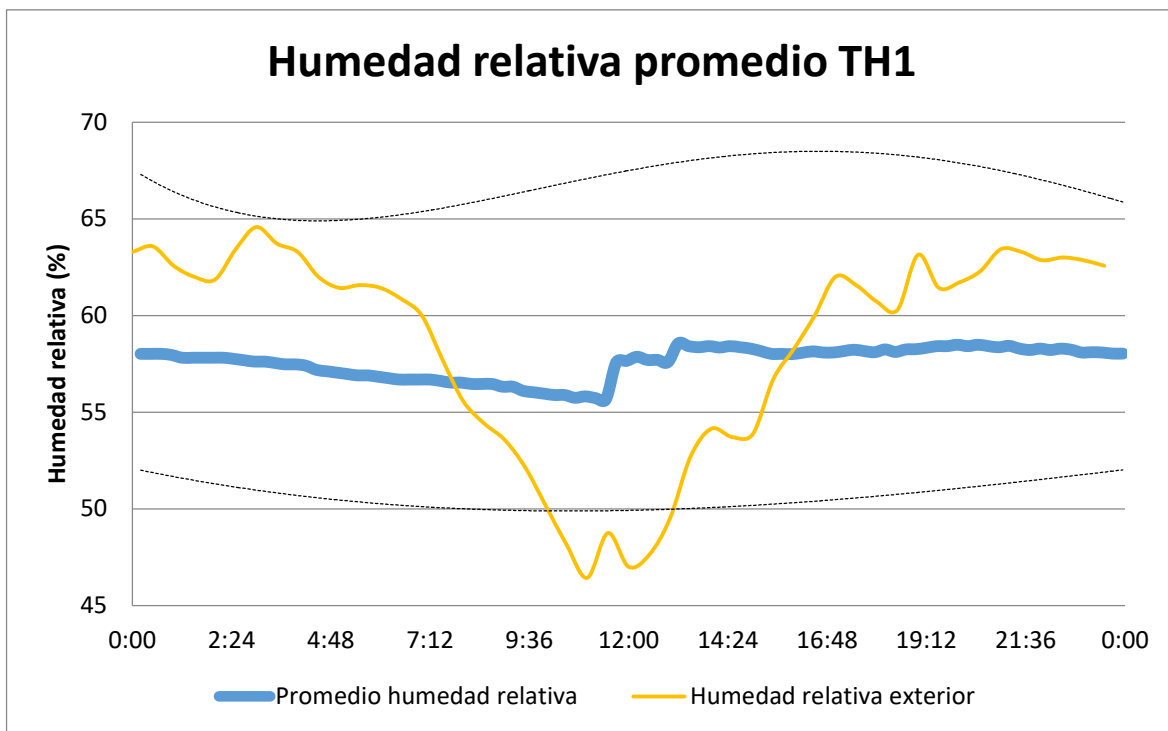


Figura 5.63. Humedad promedio medida por el termohigrómetro 1 y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

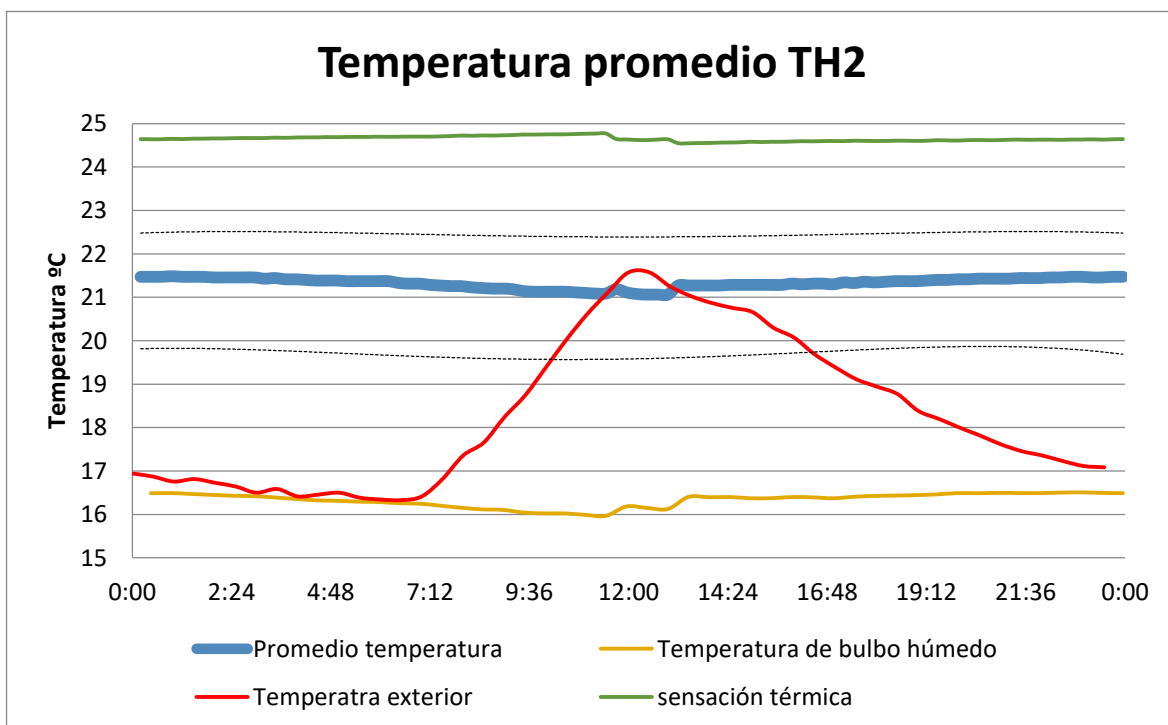


Figura 5.64. Temperatura promedio medida por el termohigrómetro 2, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

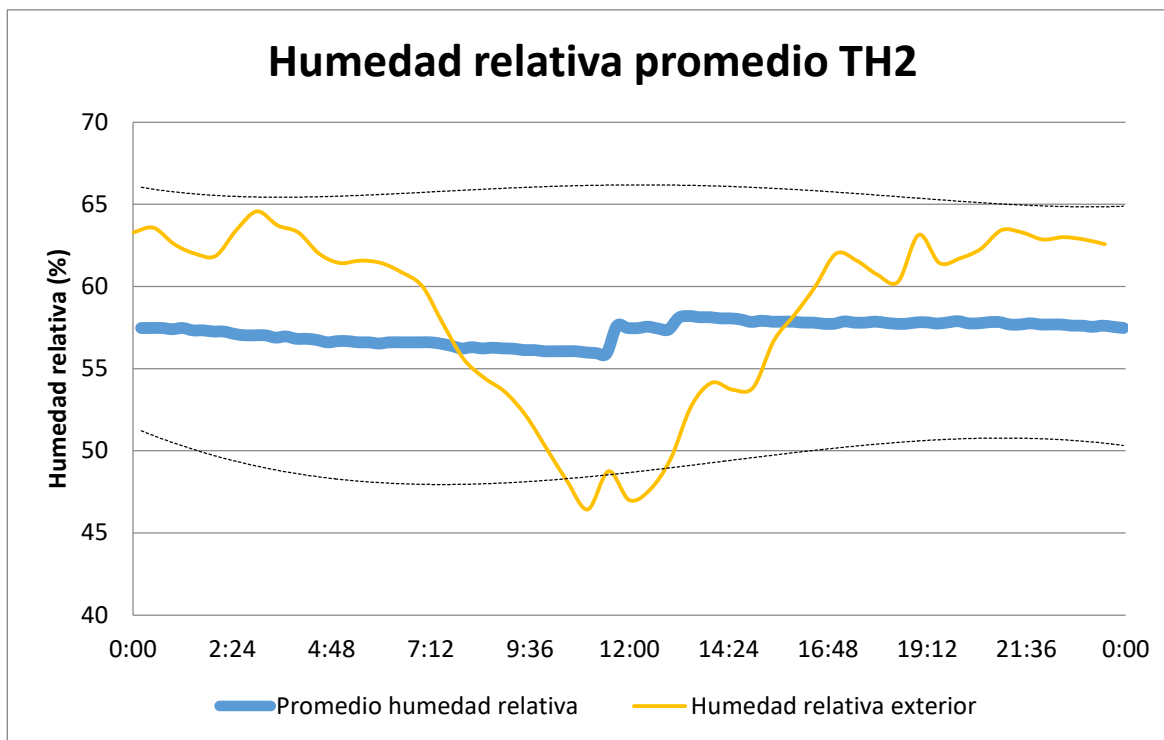


Figura 5.65. Humedad promedio medida por el termohigrómetro 2 y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

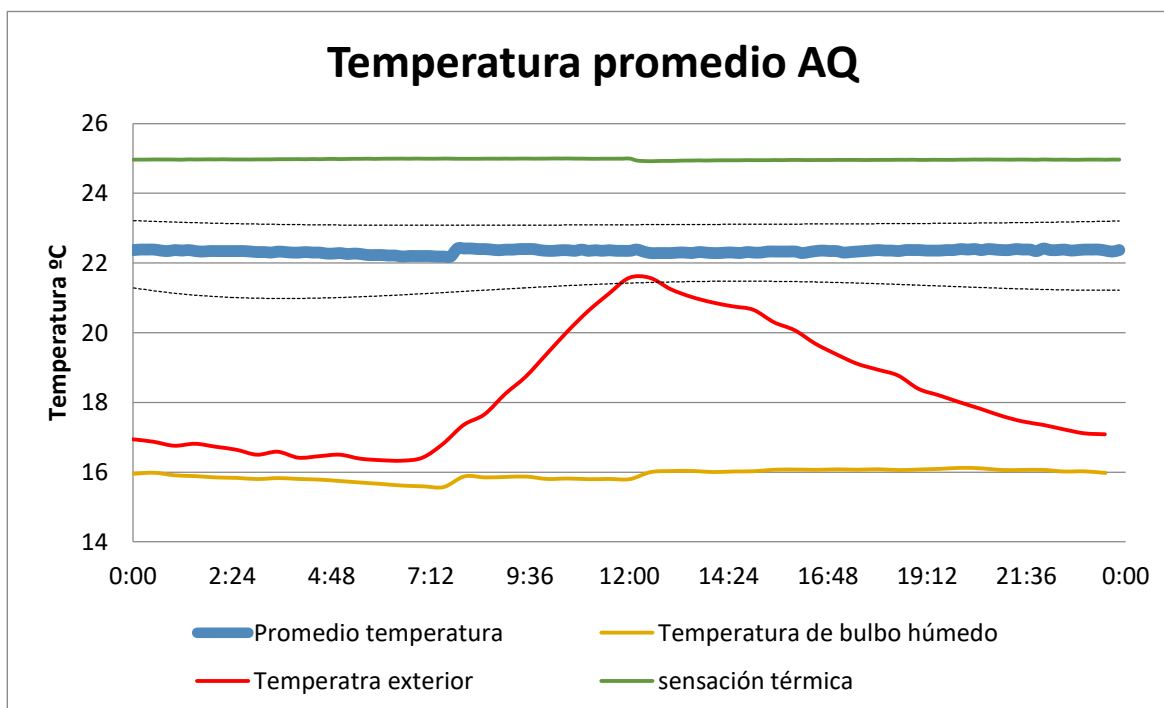


Figura 5.66. Temperatura promedio medida por medidor de calidad de aire, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

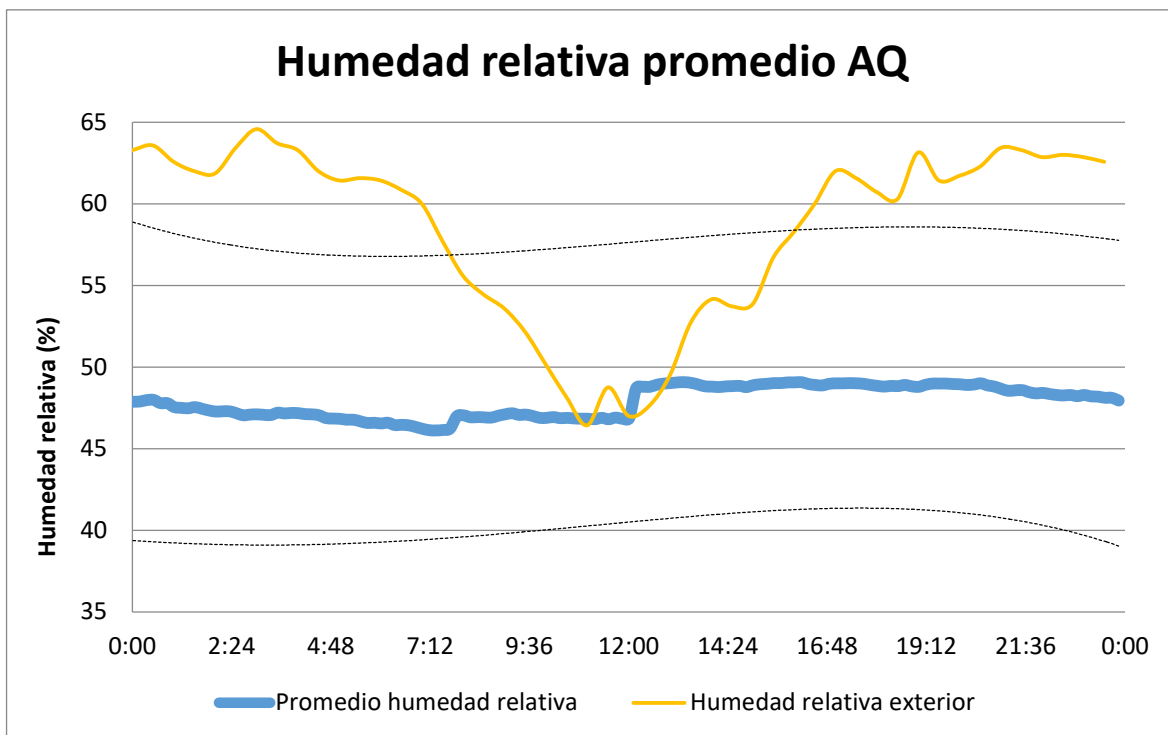


Figura 5.67. Humedad promedio medida por el medidor de calidad de aire y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

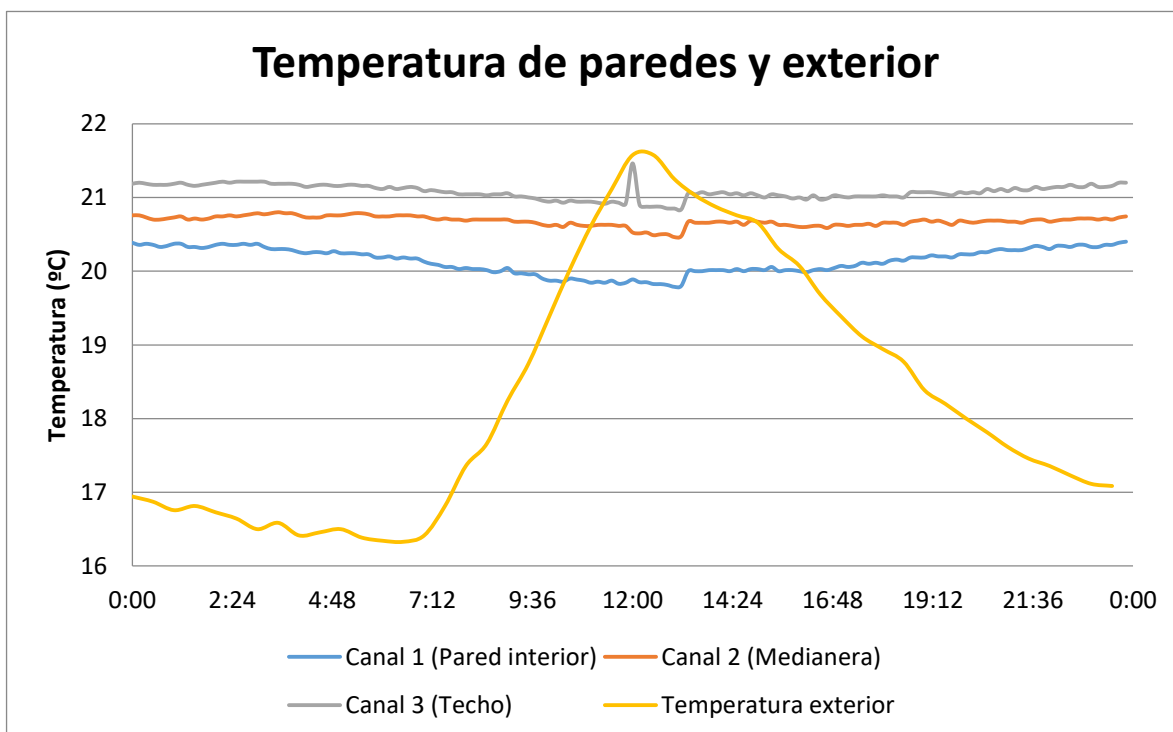
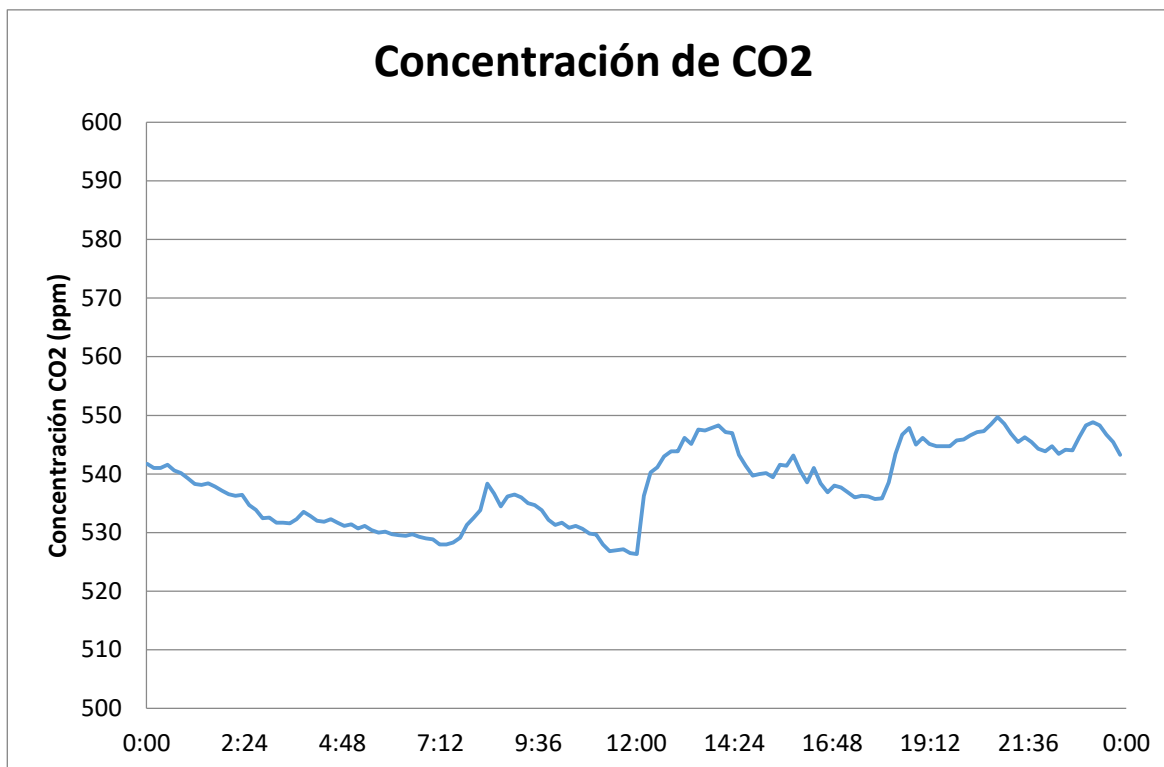


Figura 5.68. Temperatura superficial de las paredes y temperatura exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)



**Figura 5.69.** Concentración de CO2 medida por el monitor de calidad de aire (Fuente: Nil MOREU BARRA)

Niveles acusticos en fachada (2017)	dBA
Dia (7 a 21h)	61.00
Tarde (21 a 23h)	59.90
Noche (23 a 7h)	56.30
Promedio sonómetro	
Dia (7 a 21h)	38.49
Tarde (21 a 23h)	39.78
Noche (23 a 7h)	

**Figura 5.70.** Promedios de ruido medido por el sonómetro y niveles acústicos en la fachada en 2017 (Fuente: Nil MOREU BARRA)

En este caso la temperatura en el interior también permanece constante y no incrementa grandes cambios.

También se puede observar como la temperatura del techo es más alta a la temperatura de las paredes, esto se debe a que el aire caliente es menos denso que el aire frío y por tanto este sube.

Respecto a la calidad del aire en este caso se puede observar que la concentración de CO2 en el ambiente no se supera las 1000 ppm de CO2, y permanece a unos niveles adecuados.

En el caso del ruido, podemos observar que el ruido en el interior es inferior al ruido exterior pero sobrepasa los 35 dB, superando el límite recomendado (15).

## 5.8. Sant Erasme 7

### 5.8.1. Invierno

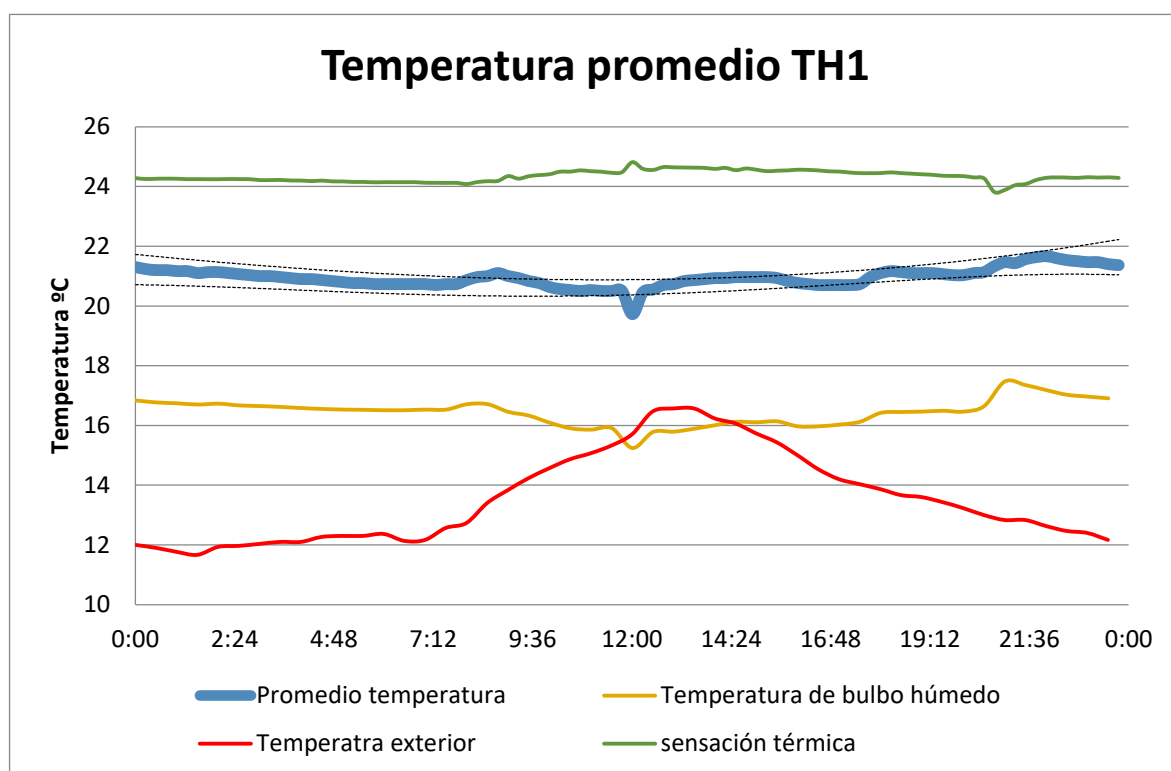


Figura 5.71. Temperatura promedio medida por el termohigrómetro 1, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica (Fuente: Nil MOREU BARRA)

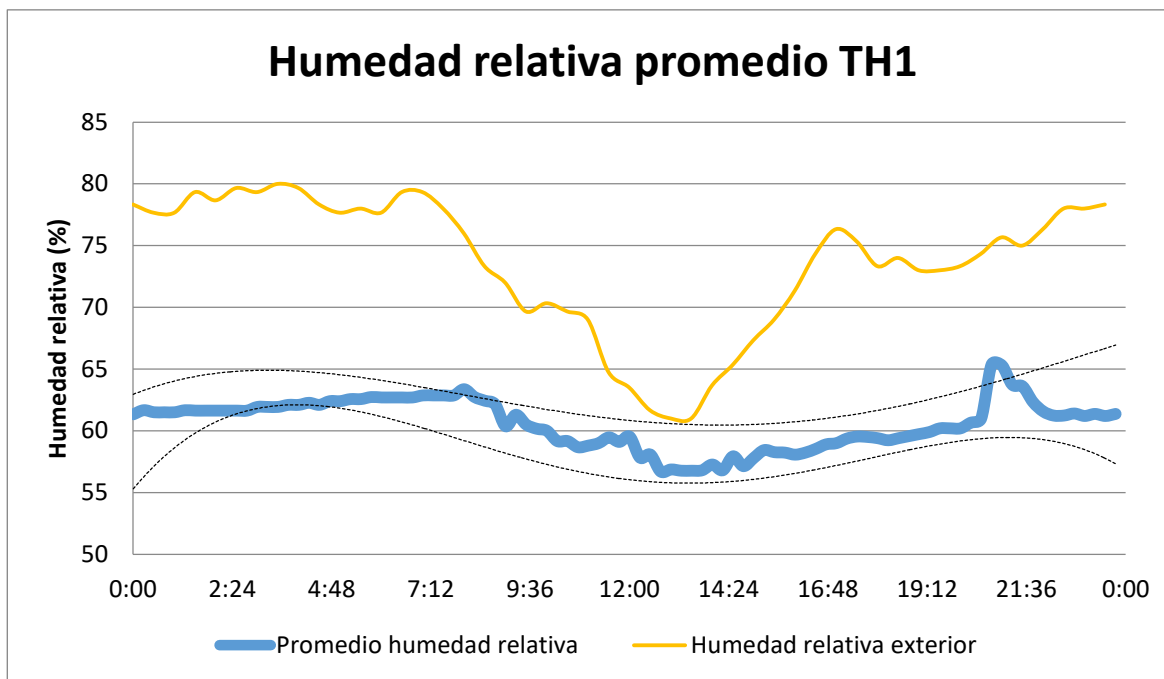


Figura 5.72. Humedad promedio medida por el termohigrómetro 1 y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

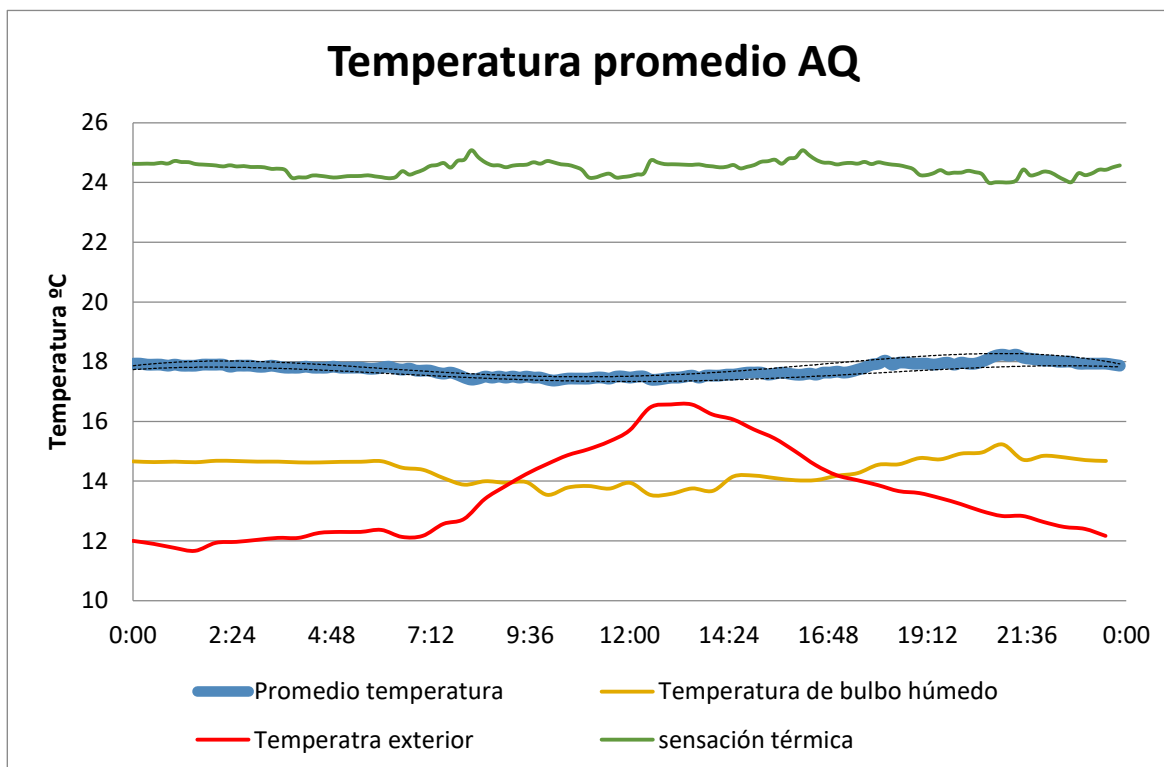


Figura 5.73. Temperatura promedio medida por medidor de calidad de aire, temperatura exterior, temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica ((Fuente: Nil MOREU BARRA)

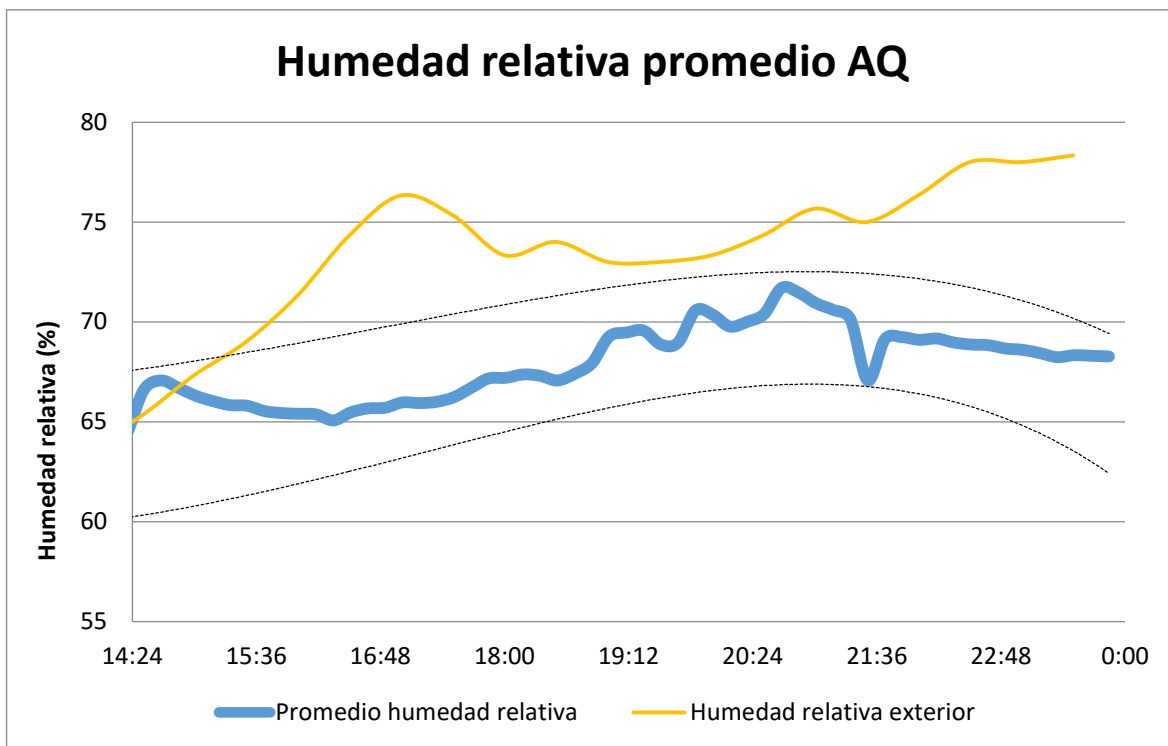


Figura 5.74. Humedad promedio medida por el medidor de calidad de aire y humedad exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

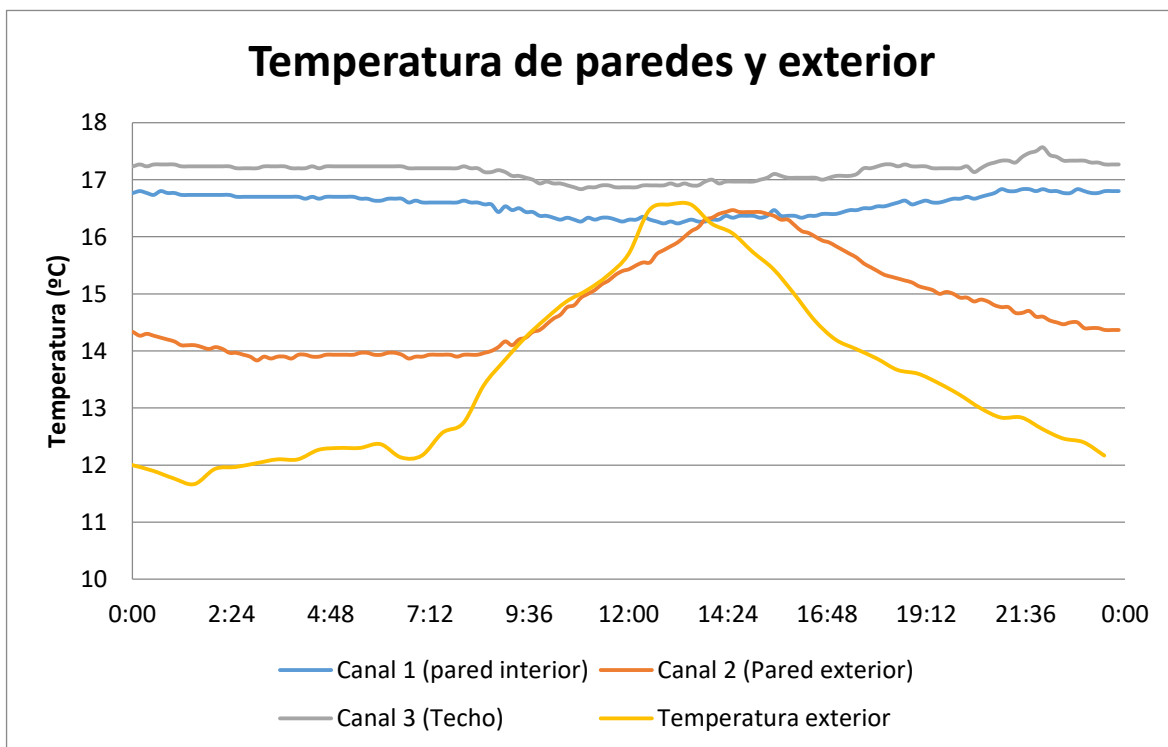


Figura 5.75. Temperatura superficial de las paredes y temperatura exterior (Fuente: Nil MOREU BARRA)

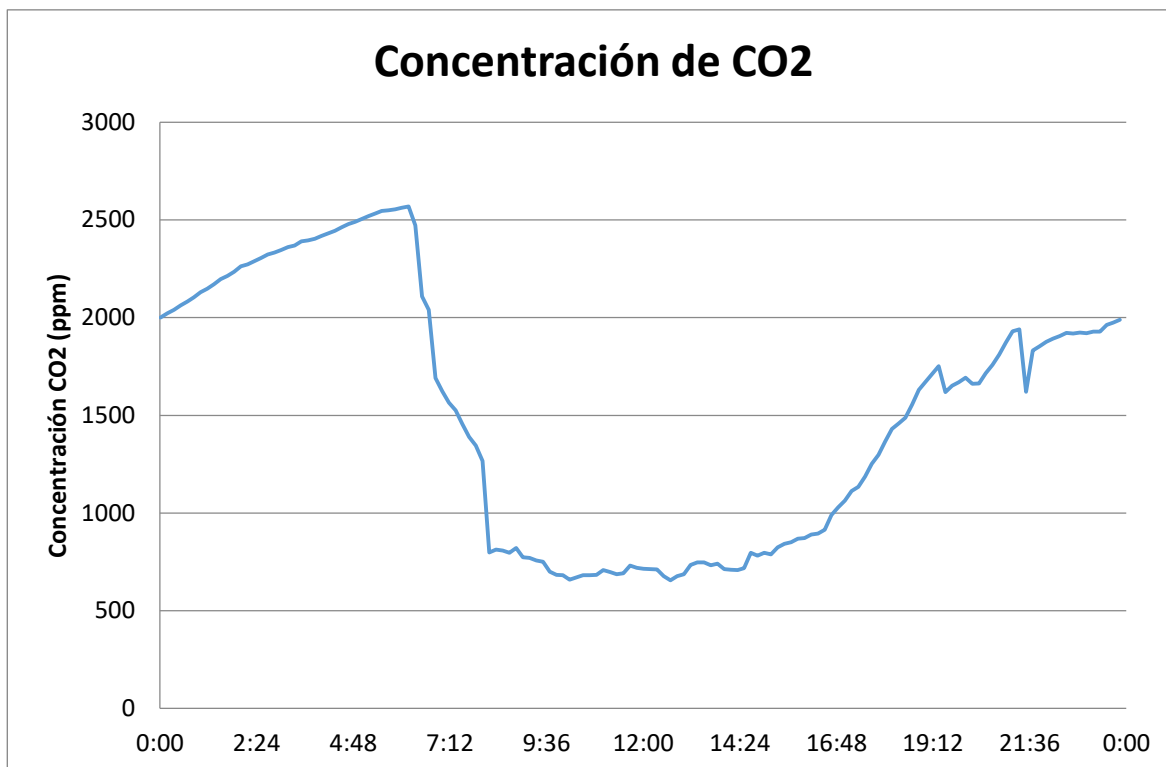


Figura 5.76. Concentración de CO2 medida por el monitor de calidad de aire (Fuente: Nil MOREU BARRA)

<b>Niveles acusticos en fachada (2017)</b>	
Dia (7 a 21h)	57.50
Tarde (21 a 23h)	55.70
Noche (23 a 7h)	50.20
<b>Promedio sonómetro</b>	
Dia (7 a 21h)	42.40
Tarde (21 a 23h)	47.45
Noche (23 a 7h)	

Figura 5.77. Promedios de ruido medido por el sonómetro y niveles acústicos en la fachada en 2017(Fuente: Nil MOREU BARRA)

En este caso, también se ha medido el flujo de calor y la temperatura exterior e interior de una pared, por lo que con estos datos se ha podido calcular la resistencia térmica de la pared con la siguiente ecuación:

$$R_T = \frac{\Delta T}{\dot{Q}} \quad (\text{Eq. 5.4})$$



Siendo:

- $R_T$ : Resistencia térmica en  $m^2 \cdot K/W$
- $\Delta T$ : Diferencia de temperatura entre la superficie del exterior e interior.
- $Q$ : Flujo de calor en  $W/m^2$

Si se hace un promedio de todos los resultados para cada instante de tiempo que hemos medido, en la pared de este piso se obtiene:

$$R_T = 0,0237 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad (\text{Eq. 5.5})$$

En este caso, la temperatura interior permanece constante, pero se puede observar una gran diferencia entre la sensación térmica y la temperatura en el termohigrómetro 2 (TH2). En cambio, con el termohigrómetro 1 (TH1) esta diferencia no es tan grande. Esto se debe a que la humedad percibida con el termohigrómetro 2 es mayor que en el caso del termohigrómetro 1.

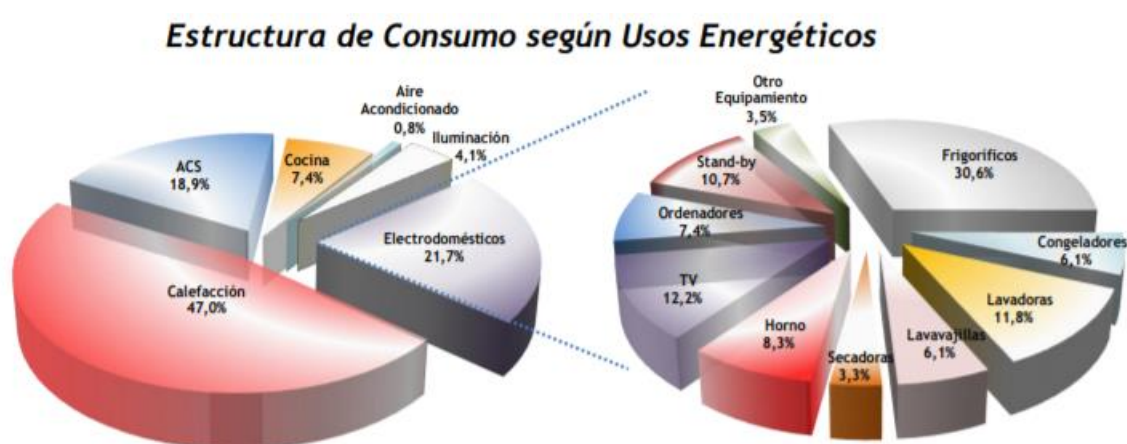
También se puede apreciar la inercia térmica de la pared exterior respecto a la temperatura ambiental exterior, ya que el pico de calor de la pared ocurre un rato después del pico de calor de la temperatura ambiental.

La concentración de CO2 en este caso es excesivamente elevada, sobre todo en las horas de la noche, pudiendo provocar dolores de cabeza, cansancio y bajo rendimiento.

## 6. Análisis del impacto ambiental

Con los datos que se han obtenido en este proyecto, se va a poder realizar un estudio para poder proponer posibles mejoras en el aislamiento de las viviendas estudiadas que permitan mejorar la transmitancia térmica del piso, y así mejorar la eficiencia energética de los pisos.

Como se puede observar en la siguiente imagen, alrededor del 47% del consumo energético de las viviendas en España se destina a climatizar el interior de las viviendas para alcanzar el nivel óptimo de confort.



**Figura 5.78.** Consumo energético según usos energéticos (Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)

Por ello, es necesario actuar sobre la envolvente de los edificios como las fachadas, puertas, ventanas, etc, para reducir la demanda de energía, mejorando el aislamiento y reducir las pérdidas energéticas por puentes térmicos o infiltraciones.

Con una mejora del aislamiento térmico, no solo mejoramos la eficiencia energética y por tanto el impacto ambiental disminuye, sino que también logramos un ahorro económico y mejorar el confort térmico y acústico.

## 7. Conclusiones

Para conocer las condiciones de confort de los diferentes pisos que se han estudiado se han utilizado diferentes aparatos de medición en dos estaciones diferentes, la de verano e invierno, y con ellos hemos podido obtener la temperatura y humedad interior en varias habitaciones, la concentración de CO<sub>2</sub> dentro de la vivienda, la temperatura superficial de hasta 3 paredes y/o techo y en el caso de la campaña de invierno también el flujo de calor. También hemos recogido valores del exterior, a través del servicio de datos abiertos de Catalunya. Estos resultados se han promediado para obtener los valores aproximados en las diferentes horas del día.

Con estos resultados hemos podido ver el efecto de la inercia térmica de las paredes, lo que indica la velocidad con la que se cede el calor acumulado durante el día de las paredes al interior de la vivienda. Esta inercia térmica en los días de invierno cuanto mayor es más nos ayudará a conservar el calor de la vivienda, pero en verano si es muy grande nos puede jugar en contra, ya que podría ceder demasiado calor absorbido durante el día y dificultaría el poder enfriar el piso.

En las gráficas también hemos podido apreciar como la temperatura del techo es mayor que la temperatura de las paredes, esto es debido a que el aire caliente tiene una densidad menor que el aire frío y por tanto el calor sube.

Con el monitor de calidad del aire hemos podido obtener la concentración de CO<sub>2</sub> en cada uno de los pisos. En algunos de los pisos hemos visto como estos durante ciertas horas del día, llegaban a sobrepasar las 1000 ppm, superando el valor máximo recomendado para los interiores (14). La concentración de CO<sub>2</sub> es perjudicial a partir de los 50000 ppm, pero a partir de valores de entre 800 y 2000 ppm puede producir diversas molestias como dolor de cabeza, cansancio o bajo rendimiento. Con el aumento de CO<sub>2</sub>, también aumenta la concentración de diferentes sustancias, como los olores originados por los seres humanos.

En el caso del ruido, podemos observar que el ruido en el interior suele sobrepasar los 35 dB por el día y los 30 dB por la noche, superando el límite recomendado (15).

Con los datos obtenidos, también hemos podido calcular la temperatura de bulbo húmedo y la sensación térmica. Estas se han calculado mediante ecuaciones proporcionadas por la agencia española de meteorología (AEMET). Con las gráficas, hemos podido observar como la sensación térmica era mayor a mayores humedades, ya que a en altas temperaturas, una humedad alta dificulta o incluso inhibe el proceso de transpiración corporal. Por el contrario, si la humedad es baja se facilita la evaporación del sudor corporal, por lo que nuestro cuerpo perderá calor más fácilmente y la sensación térmica será menor. En bajas temperaturas, una alta humedad indica mayor

concentración de agua, por lo que percibiremos más el frío, ya que el agua tiene una conductividad térmica mayor que la del aire.

Finalmente, con el sensor de flujo de calor y la diferencia de temperatura superficial entre la pared exterior e interior, hemos podido obtener la resistencia térmica de las paredes. En el Anexo A, se incluye la resistencia térmica mínima que han de tener los edificios que se construyen hoy en día. Hay que destacar, que los edificios que hemos medido, el año que se construyeron no tenían que superar esta esta resistencia térmica ya que no salía especificada en el Código Técnico de la Edificación.

## 8. Análisis Económico

Para poder realizar estas mediciones, se ha tenido que hacer una inversión en sensores y material que nos permitan realizar instalación.

En este proyecto no se ha contemplado el precio e recursos humanos, ya que este trabajo se hace para la asociación Oasiurbà, que es una entidad sin ánimo de lucro que trabaja para mejorar las condiciones de vida de la vecindad.

En la siguiente tabla se indican los precios de todo el equipo en el que se ha invertido para poder obtener los resultados expuestos en este proyecto. En estos precios el IVA viene incluido.

SENSORES	Precio [€]	Unidades	Total [€]
Termohigrómetros	15.99 €	5	79.95 €
Sensor de calidad de Aire	268.99 €	2	537.98 €
Sensor de temperatura superficial	279.88 €	2	559.76 €
Termopar tipo K de 1m	26.99 €	4	107.96 €
Termopar tipo K de 5m	14.70 €	4	58.80 €
Sonómetro	191.06 €	1	191.06 €
Sensor de Flujo de calor	2 020.70 €	1	2 020.70 €
<b>TOTAL</b>			<b>3 556.21 €</b>
SOFTWARE			
	Precio [€/mes]	Unidades	Total [€]
Microsoft Excel	7.00 €	6	42.00 €
<b>TOTAL</b>			<b>42.00 €</b>
MATERIAL			
	Precio [€]	Unidades	Total [€]
Caja herramientas	7.99 €	2	15.98 €
Pilas	15.99 €	2	31.98 €
Cinta carroceros	2.30 €	1	2.30 €
Lector tarjetas USB	15.00 €	1	15.00 €
Pasta térmica de 3.5g	14.38 €	5	71.90 €
<b>TOTAL</b>			<b>137.16 €</b>
<b>COSTE TOTAL</b>			<b>3 735.37 €</b>

Figura 8.1. Costes del proyecto (Fuente: Nil MOREU BARRA)



## Bibliografía

1. Asociación de Ciencias Ambientales. *¿Qué es la pobreza energética?* [Consulta: 05 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.cienciasambientales.org.es/index.php/ique-es-la-pobreza-energetica>
2. Sergio TIRADO y RMIT Europe. *Indicadors municipals de pobresa energètica a la ciutat de Barcelona*. Barcelona: Enero de 2018. [Consulta: 08 noviembre 2020] Disponible en: <https://ajuntament.barcelona.cat/premsa/wp-content/uploads/2018/02/Indicadors-municipals-de-pobresa-energ%C3%A8tica-a-la-ciutat-de-Barcelona-Sergio-Tirado-Herrero-RMIT-Europe-.pdf>
3. EnergyPlus. *Weather Data Download – Barcelona 081810*. [Consulta: 09 noviembre 2020]. Disponible en: [https://energyplus.net/weather-location/europe\\_wmo\\_region\\_6/ESP//ESP\\_Barcelona.081810\\_IWEC](https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/ESP//ESP_Barcelona.081810_IWEC)
4. EnergyPlus. [Consulta: 09 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/climate-consultant/request-climate-consultant.php>
5. César RODRÍGUEZ BALLESTEROS. *Cálculo de la temperatura del termómetro húmedo, en función de la temperatura del termómetro seco y de la humedad relativa*. En: AEMET. [Consulta: 25 noviembre 2020]. Disponible en: [https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/1935/1/calculotemp\\_cal99.pdf](https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/1935/1/calculotemp_cal99.pdf)
6. María ESTELA RAFFINO. *Transferència de calor*. En: Concepto.de. Argentina: 16 Agosto 2020. [Consulta: 30 noviembre 2020]. Disponible en: <https://concepto.de/transferencia-de-calor/>
7. Yunus A. ÇENGEL y Michel A. BOLES. *Termodinámica*. Séptima edición. México, 2012. ISBN 978-607-15-0743-3
8. Yunus A. ÇENGEL. *Transferencia de calor y masa*. Tercera edición. México, 2007. ISBN 978-970-10-6173-2. [Consulta: 05 Enero 2021]. Disponible en: [https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi\\_blog/r/Transferencia\\_de\\_Calor\\_y\\_Masa\\_-\\_Yunus\\_Cengel\\_-\\_Tercera\\_Edicion.pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/cfd91cf1d8924f74aa09d82a334726d1/mi_blog/r/Transferencia_de_Calor_y_Masa_-_Yunus_Cengel_-_Tercera_Edicion.pdf)
9. ELSEVIER. *Thermal Inertia*. [Consulta: 05 Enero 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/thermal-inertia>
10. Grupo de Acústica. *Curso de acústica*. 2003. [Consulta: 09 Enero 2021]. Disponible en: <http://www.ehu.eus/acustica/index.html>

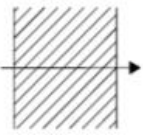
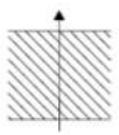
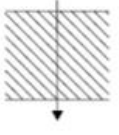
11. Servei meteorològic de Catalunya. *Dades obertes*. [Consulta: 10 Octubre 2020]. Disponible en: <https://www.meteo.cat/wpweb/serveis/cataleg-de-serveis/serveis-oberts/dades-obertes/>
12. Ajuntament de Barcelona. *Mapa de dades ambientals, Dades de qualitat acústica*. Barcelona, 2017. [Consulta: 10 Octubre 2020]. Disponible en: <https://ajuntament.barcelona.cat/mapes-dades-ambientals/soroll/ca/>
13. AEMET. *Sensación térmica de frío y calor*. [Consulta: 02 Enero 2021]. Disponible en: <http://www.aemet.es/es/conocermas/montana/detalles/sensaciontermica>
14. PCE Iberica. *Definición de la calidad de aire y el CO2*. [Consulta: 20 Diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/definicion-calidad-aire-y-co2.htm>
15. Clikalia. *Cómo medir los decibelios de tu casa y conocer el máximo permitido*. [Consulta: 20 Diciembre 2020]. Disponible en: <https://blog.clikalia.com/es/como-medir-decibelios-casa>
16. Código Técnico de la Edificación. *Cálculo de parámetros característicos de la envolvente*. DA DB-HE / 1. Enero 2020. [Consulta: 09 Enero 2020] Disponible en: [https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DA\\_DB-HE-1\\_Calculo\\_de\\_parametros\\_caracteristicos\\_de\\_la\\_envolvente.pdf](https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DA_DB-HE-1_Calculo_de_parametros_caracteristicos_de_la_envolvente.pdf)
17. IDEA. *Análisis del consumo energético del sector residencial en España*. 16 de Julio de 2011. [Consulta: 11 Enero 2020]. Disponible en: [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Informe\\_SPAHOUSEC\\_ACC\\_f68291a3.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf)
18. Mario. *El impacto del aislamiento térmico en la eficiencia energética de los edificios*. [Consulta: 11 Enero 2020]. Disponible en: <https://blogedificacionyenergia.com/impacto-aislamiento-termico-eficiencia-energetica/>
19. Fernando LLORENTE. *¿Qué es la sensación térmica?*. 17 de Septiembre de 2017. [Consulta: 11 Enero 2020]. Disponible en: <https://www.tiempo.com/noticias/divulgacion/-que-es-la-sensacion-termica-.html>



## Anexo A: Normativa consultada

En el Código técnico de la Edificación (16), en el Documento de Apoyo al Documento Básico, concretamente en CTE DA DB-HE / 1, se detalla las resistencias térmicas superficiales de cerramientos con el aire exterior en  $[m^2 \cdot K/W]$  en la siguiente tabla:

**Tabla 1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior  $[m^2 \cdot K/W]$**

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		$R_{se}$	$R_{si}$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (suelo)		0,04	0,17

**Figura Anexo A.** Resistencias térmicas superficiales de cerramientos