



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

TRABAJO DE FINAL DE GRADO

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL CONFORT TÉRMICO Y  
ACÚSTICO DE VIVIENDAS VULNERABLES EN EL BARRIO  
DEL RAVAL**



**Volumen I**

**Memoria y Anexos**

**Autor:** Eduard Muñoz Gómez  
**Director:** Alfredo Guardo Zabaleta  
**Departamento** MF  
**Co-Director:** Magda Ruiz Ordoñez  
**Convocatoria:** Junio 2021



## Resumen

Este Trabajo nace a partir de la idea de querer mejorar la vida de personas socialmente vulnerables desde una perspectiva técnico-ingenieril. Este trabajo se ha llevado a cabo con la ayuda de la asociación Oasiurbà, una organización sin ánimo de lucro cuyo objetivo es mejorar las condiciones de vida de los vecinos del Raval que más lo necesitan, y poder garantizarles unas condiciones de vivienda digna.

El objetivo de este trabajo es mediante la instalación de una serie de sensores en los pisos que conforman la muestra, recoger valores de la condición acústica, de la calidad del aire y de las condiciones térmicas y de humedad de los pisos seleccionados.

El conjunto de sensores son formados por 2 termohigrómetros, un sensor de calidad de aire, sensores que miden la temperatura mediante 3 canales distintos, un sonómetro y un sensor que registra el flujo de calor que transcurre a través de una pared o una superficie.

Mediante la base de datos que se conforma con las mediciones de todos los sensores y el estudio de datos provenientes de sensores externos que nos proporciona la Generalitat, el objetivo del trabajo a sido el procesamiento y estudio de estos datos desde una perspectiva estadística.

## Resum

Aquest Treball neix a partir de la idea de voler millorar la vida de persones socialment vulnerables des d'una perspectiva tècnica. La realització del treball s'ha dut a terme amb l'ajuda de l'associació Oasiurbà, una organització sense ànim de lucre que te per objectiu millorar les condicions de vida dels veïns de Raval que més ho necessiten, i poder garantir-los unes condicions d'habitatge digne.

L'objectiu d'aquest treball és mitjançant la instal·lació d'una sèrie de sensors en els pisos que conformen la mostra, recollir valors de la condició acústica, de la qualitat de l'aire i de les condicions tèrmiques i d'humitat dels pisos seleccionats.

El conjunt de sensors són formats per 2 Termohigròmetres, un sensor de qualitat d'aire, sensors que mesuren la temperatura mitjançant 3 canals diferents, un sonòmetre i un sensor que registra el flux de calor que transcorre a través d'una paret o una superfície.

Mitjançant la base de dades que es conforma amb els mesuraments de tots els sensors i l'estudi de dades provinents de sensors externs que ens proporciona la Generalitat, l'objectiu de la feina a estat el processament i estudi d'aquestes dades des d'una perspectiva estadística.

## **Abstract**

This Work was born from the idea of wanting to improve the lives of socially vulnerable people from a technical-engineering perspective. This work has been carried out with the help of the Oasiurbà association, a non-profit organization whose objective is to improve the living conditions of the residents of the Raval who need it most, and to guarantee them decent housing conditions.

The objective of this work is by installing a number of sensors on the floors that make up the sample, to collect values of the acoustic condition, air quality and thermal and humidity conditions of the selected floors.

The set of sensors are made up of 2 thermohygrometers, an air quality sensor, sensors that measure temperature through 3 different channels, a sound level meter and a sensor that records the flow of heat that passes through a wall or surface.

Through the database that is made up of the measurements of all the sensors and the study of data from external sensors provided by the Generalitat, the aim of the work has been the processing and study of these data from a statistical perspective.

## Agradecimientos

Agradecer a Alfredo y Magda, tutores del trabajo, por involucrarse completamente en este proyecto, por ayudarme, apoyarme, por creer en mí y por creer en el potencial de este proyecto. Trabajar con ellos a sido un verdadero placer y sin su empeño este proyecto no hubiese salido adelante.

Al principio solo conoces a dos profesores de universidad, pero detrás de dos profesores de universidad existen dos personas extraordinarias que aman lo que hacen y eso se percibe desde el primer día.

También agradecer a todos los miembros de la asociación Oasiurbà por cederme siempre su espacio, por dejarme involucrarme en el proyecto REEhanilitant el Raval y poder aportar mi granito de arena, con especial mención a Edgardo arquitecto miembro de la asociación que siempre ha estado en contacto conmigo para interesarse en todo el proceso de medición y registro de datos.

Agradecer también a Nil Romeu, alumno que inició este proyecto el cual a pesar de ya no formar parte de la universidad ni de la asociación siempre he podido recurrir a él en caso de dudas con los sensores o con el software.

Por último me gustaría agradecer a las entidades externas que colaboran en el proyecto de REEhanilitant el Raval como són el Col·legi d'Arquitectes de Catalunya (COAC) y el Centre de Cooperació per al Desenvolupament de la UPC (UPC-CCD) ya que sin estas entidades, proyectos con una labor social como este no podrían resultar viables por falta de recursos y financiación.

# Índice

Resumen.....	i
Resum.....	ii
Abstract .....	iii
Agradecimientos .....	iv
1. Prefacio.....	1
1.1. Origen del trabajo.....	1
1.2. Motivación.....	1
1.3. Requerimientos previos .....	2
2. Introducción.....	3
2.1. Pobreza energética .....	3
2.1.1. Pobreza energética del Raval .....	5
2.2. Objetivos del trabajo.....	6
2.3. Alcance y limitaciones del trabajo .....	7
3. Estudio experimental .....	8
3.1. Clima en Barcelona .....	8
3.2. Análisis del consumo eléctrico .....	10
3.3. Cálculo de variables .....	12
3.3.1. Temperatura de bulbo seco .....	12
3.3.2. Temperatura de bulbo húmedo .....	13
3.3.3. Sensación térmica.....	15
4. Variables medidas .....	17
4.1. Temperatura .....	17
4.2. Humedad relativa.....	19
4.3. Calidad del aire.....	21
4.4. Flujo de calor.....	23
4.5. Contaminación acústica.....	25
4.6. Mediciones Externas .....	27
4.7. Estructura de datos .....	28
5. Pisos estudiados.....	36
6. Metodología de análisis de datos .....	38
6.1. Marco teórico.....	38
6.1.1. Estadística descriptiva.....	38
6.1.2. P-valor .....	45
6.1.3. Regresión lineal .....	45

7. Programación en RStudio .....	50
8. Resultados .....	65
8.1. Resultados experimentales.....	66
8.1.1. Parellada, 9.....	66
8.1.2. Junta del comerç, 14.....	72
8.1.3. Sant Pau,122.....	78
8.1.4. Peu de la creu,32 .....	84
8.2. Resultados estadísticos.....	90
9. Análisis medioambiental .....	100
10. Conclusiones .....	101
11. Objetivos a futuro .....	103
12. Análisis económico.....	104
Bibliografía.....	106
ANEXO A: Programación Completa .....	108

# **1. Prefacio**

## **1.1. Origen del trabajo**

La realización de este proyecto se ha confeccionado juntamente con la ONG Oasiurbà y su equipo de educadores sociales. Esta ONG ubicada en la calle de San Ramón número 6 es una asociación sin ánimo de lucro formada por un equipo de arquitectos, ingenieros, abogados y miembros del equipo social que brindan ayuda a vecinos del barrio desde un ámbito técnico, ya sea mediante servicios de reconstrucción de zonas de la vivienda o mediante una asistencia legal a personas en riesgo de exclusión.

Este trabajo se engloba en el proyecto de REE\_HABILITANT. Este proyecto tiene como finalidad ayudar en el bienestar de los vecinos del barrio, ya sea con pequeñas soluciones de bajo precio para mejorar el acondicionamiento de la vivienda o proporcionándoles alguna ayuda en cuanto al consumo energético.

## **1.2. Motivación**

Des del primer momento que inicié mi búsqueda del trabajo final de grado, tenía claro que quería que mi trabajo no solo fuese un proyecto de algún tipo de investigación o desarrollo que quedase solo en eso. Siempre había querido hacer un proyecto que aportase valor a la sociedad, un proyecto en el cual pudiese ayudarme de los conocimientos que tengo para poder ayudar a quien más lo necesita. Cuando Alfredo me habló sobre la posibilidad de trabajar conjuntamente con la ONG Oasiurbà y poder aportar mis conocimientos de la carrera para ayudar a vecinos del barrio en situación de pobreza no lo dudé dos veces.

Pienso que un proyecto como este, en el que su objetivo principal es proporcionar ayuda y recursos a quienes más lo necesitan te enriquece como persona. Este proyecto me ha permitido darme cuenta de que hay gente que vive entre nosotros, en un país del primer mundo como es España y en cambio vive en unas condiciones pésimas y con falta de recursos. Pienso que un proyecto que te permite ver como tus esfuerzos repercuten en una mejora de condiciones de vida de otras personas, te hace mejor persona.

### **1.3. Requerimientos previos**

Previamente al inicio de la realización del trabajo, es importante consolidar los conocimientos sobre Excel. La mayoría de sensores nos muestran los datos recogidos en formato Excel o formato TXT con lo cual es importante conocer de manera básica el funcionamiento de Excel para poder tratar los datos que nos dan los sensores.

Por otro lado y siguiendo con conocimientos sobre Software, es imprescindible recordar todo lo que se ha visto en la carrera sobre el software estadístico Rstudio. Es importante destacar que solo con los conocimientos de este software visto en clases de estadística no han sido suficientes para abarcar toda la demanda del estudio de este trabajo. Estos conocimientos se han tenido que complementar con soportes externos como por ejemplo tutoriales, videos, blogs o informes en internet.

También es importante destacar el hecho de tener en mente todos los conocimientos propiamente de la rama de la estadística, como por ejemplo saber que son los cuartiles, las splines, o saber cómo podemos saber si dos variables son dependientes..etc.

En cuanto a la utilización de sensores, previamente a la primera instalación en algún piso de la muestra, es esencial familiarizarse tanto con el sensor como con su software. Una buena opción para poder entender su funcionamiento ha sido ir haciendo pruebas de montaje y medición en mi propia casa, observando cómo se debe configurar el sensor, que parámetros son variables en su medición y posteriormente a la medición, hacer un estudio de como el sensor registra los datos, como el sensor te muestra los datos y valorar si los valores son consistentes o no.

## 2. Introducción

### 2.1. Pobreza energética

A lo largo de las de estas últimas décadas hemos podido ver como la banca y los inversores financieros han entrado de forma más evidente en el accionariado de las empresas energéticas, promoviendo así el desplazamiento de estas respecto al servicio esencial que representan en nuestra sociedad, poniendo por encima los intereses de rentabilidad de estas. Todos somos conocedores de que sin energía nadie puede vivir por lo que los mercados financieros se aprovechan de esto, al igual que se hizo y se sigue haciendo con las viviendas.

Respecto a las empresas energéticas, en 2010 solo Endesa que en ese momento contaba con el 40% de la cuota del mercado del sector eléctrico de España i Portugal, declara en su Informe de sostenibilidad 721,172 cortes de suministro por impago en ambos países. Por otro lado, en 2012 se publica el informe sobre la pobreza energética en el Estado Español por la Asociación de Ciencias Ambientales (ACA) que con sus cifras alerta que el 15% de los hogares del Estado sufren de pobreza energética. Por lo que, alerta de la necesidad de un sistema de apoyo a las familias incapaces económicamente de asumir las facturas energéticas. También es necesario comentar que, España es el 5º país con la luz más cara de la Unión Europea y la tendencia a la alza continua, por lo que esto no facilita la mejora de dicho problema.

A lo largo de los años se han planteado diferentes sistemas para paliar la pobreza energética, pero con unas deficiencias de base tanto muy mejorables como es el caso del primer bono social eléctrico del 2009 que no consiguió dar respuesta a las situaciones de pobreza energética en el Estado Español.

Frente a esta situación, Cataluña es uno de los territorios pioneros en la lucha contra la pobreza energética. Por lo que en diciembre de 2013 se aprueba el Decreto-Ley 6/2013 donde se modifica el Código de Consumo de Catalunya i a partir del cual se establece una tregua Hiberna, que consiste en que durante los meses de invierno (noviembre-marzo) no se puede cortar el suministro si hay un informe de Servicios sociales justificando la vulnerabilidad de dicha familia. En septiembre del 2014 es impugnado por el gobierno ya que, como en otros planes de acción, tenía claras limitaciones. Por tanto, no existía aun un sistema firme de apoyo para las familias vulnerables.

No es hasta la aparición del *ILP habitatge* que recoge medidas contra la emergencia habitacional y la pobreza energética que dan un enfoque hacia el reconocimiento del agua y de la energía como derechos fundamentales, que se tienen que garantizar por encima de los

intereses económicos de las grandes empresas. Este plantea por primera vez en el Estado Español un mecanismo de protección de los hogares vulnerables ante los cortes de suministro en aumento. El *ILP habitatge* se convierte en ley el mismo año (Ley 24/2015) (figura 1), pero como era de esperar no fue bien recibida por las grandes empresas, ya que ellas debían asumir las deudas de sus consumidores vulnerables. A día de hoy, la lucha por la negociación entre la Generalitat y las grandes empresas por el pago de dichas deudas sigue siendo un gran problema en nuestro territorio. Por otro lado, ciudades como Barcelona proporcionan oficinas de atención llamadas Puntos de asesoramiento energético que se irán consolidando y replicando en otros puntos de Catalunya.

Característiques de la Llei 24/2015 en matèria de pobresa energètica:

- ✓ Abasta els subministraments d'electricitat, gas i aigua.
- ✓ **Principi de precaució:** abans de qualsevol tall, la companyia subministradora ha de contactar amb els Serveis Socials municipals perquè aquests acreditin si existeix situació de risc d'exclusió residencial, basant-se en uns barems d'ingressos familiars establerts a la mateixa llei.
- ✓ **Garantia de subministrament:** en el cas que la família es trobi en situació de risc d'exclusió residencial, s'haurà de garantir el seu subministrament i posar en marxa els ajuts corresponents per no generar-li un deute.
- ✓ **Silenci positiu:** s'entendrà que la família es troba en situació de risc d'exclusió residencial quan l'Administració no ofereixi una resposta a la companyia en el termini de 15 dies.
- ✓ **Formalització d'acords o convenis:** l'Administració i les companyies formalitzaran aquests acords perquè les últimes assumeixin a fons perdut els possibles impagaments o ofereixin a les famílies grans descomptes.

**Figura 2.1** Ley 24/2015 (Fuente: EMERGÈNCIA HABITACIONAL, POBRESA ENERGÈTICA I SALUT)

### 2.1.1. Pobreza energética del Raval

Como se puede ver en el diagrama realizado en 2017 a partir del estudio realizado por los Puntos de Atención a la Pobreza Energética por el Ayuntamiento de Barcelona, se puede ver cómo un 11% de la población Barcelonesa no disponen de ningún aparato que permita mantener caliente su hogar y hasta un 31% no dispone ni tan solo de un sistema de calefacción. (Figura 2)

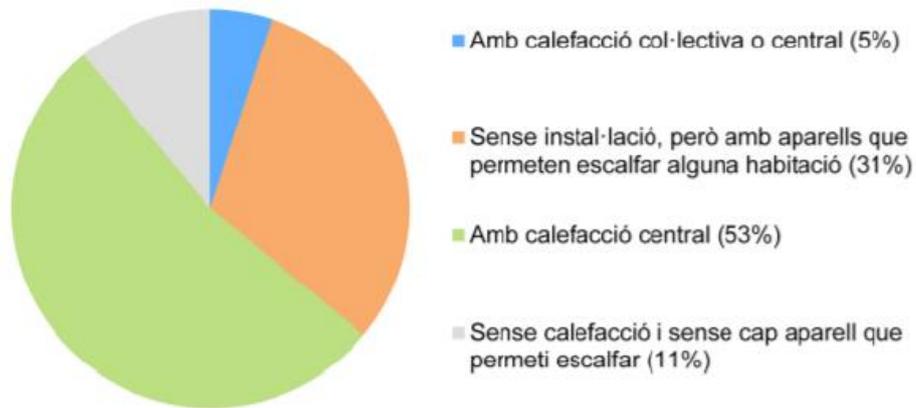


Figura 2.2 Sistema de calefacción en viviendas (Fuente: Luxán García de Dieo)

El barrio donde hemos realizado el estudio es el Raval, concretamente en el distrito de *Ciutat Vella*, ya que según la Encuesta de Salud Pública de Barcelona (ESPB), es un distrito con una pobreza energética 5 veces por encima del distrito menos afectado en este caso *Les Corts* (figura 3). Este índice se formula a partir de 3 indicadores principales:

- La incapacidad de mantener la vivienda a una temperatura adecuada
- Retrasos en el pago de las facturas energéticas
- Presencias de goteras, humedades o moho en las viviendas

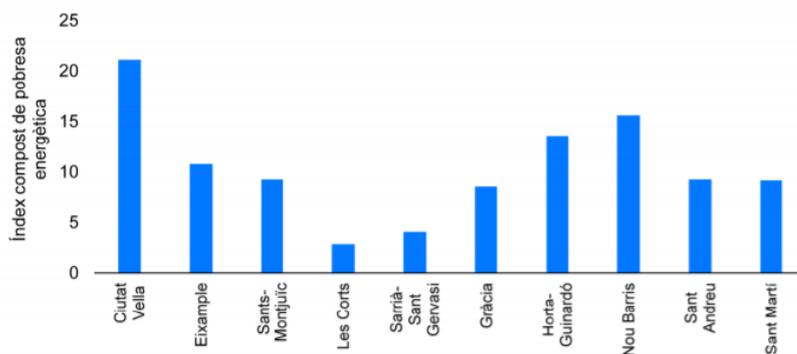


Figura 2.3 Intensidad de pobreza energética (Fuente: ASPB)

## 2.2. Objetivos del trabajo

El principal objetivo de este trabajo es realizar un estudio estadístico y de procesamiento de datos provenientes de estudios de medición en pisos en riesgo de exclusión social o pobreza energética. Estos estudios de medición buscan obtener datos en referencia a las condiciones térmicas, acústicas de la calidad de aire de los diferentes pisos que conforman el estudio.

Mediante este estudio estadístico se buscará obtener conclusiones y comportamientos térmicos los cuales permitan implementar soluciones arquitectónicas y de edificación en estos pisos de bajo coste , que tengan una implementación sencilla y que comporten un mantenimiento prácticamente nulo.

Estas soluciones arquitectónicas permitirán mejorar las condiciones de habitabilidad de estos pisos, donde muchos de ellos están sumamente deteriorados y algunos tienen más de cien años.

En cuanto a los objetivos específicos, primeramente se realizará la instalación de los sensores en el piso correspondiente. Estos sensores registran temperatura y humedad de la habitación donde están ubicados, nivel de ruido procedente del exterior, la concentración de CO<sub>2</sub> en la habitación principal del piso, la temperatura superficial de las paredes y/o techo y registran también el flujo de calor de una pared exterior. Estos datos también nos permitirán obtener la sensación térmica en cada momento.

A la muestra de datos que obtendremos a partir de las mediciones de los sensores habrá que añadir el conjunto de datos referentes al consumo eléctrico que será la variable base respecto la cual compararemos el resto de variables.

Por otro lado también se incluirá la serie de datos referente a la RED XEMA. Esta RED XEMA del Servicio Meteorológico de Cataluña es una red formada por un conjunto de sensores ubicados por todo el territorio los cuales registran a tiempo real un conjunto de variables climáticas. Concretamente se utilizaran los datos de Temperatura y Humedad relativa correspondientes al sensor número cuatro ubicado en el propio barrio del Raval.

### 2.3. Alcance y limitaciones del trabajo

Para poder realizar este proyecto, se necesitan tanto una correcta implementación de todo el sistema de sensores para que registren correctamente las variables que necesitamos, y posteriormente un método de estudio estadístico riguroso que nos proporcione conclusiones y patrones de comportamiento de las variables del estudio.

El alcance del proyecto es la realización de un método estadístico que nos permita obtener unos resultados consistentes y fiables en cuanto al comportamiento térmico de los pisos que conforman la medición. Estos resultados permitirán a largo plazo personificar en cada piso que solución arquitectónica se adapta mejor a las condiciones de habitabilidad, para así mejorar el confort de los inquilinos.

El primer paso para la realización del proyecto es la instalación de los sensores en los pisos voluntarios. Estos pisos del vecindario del Raval, se han adherido al proyecto de Oasiurbà mediante las asociaciones de vecinos.

En el momento de la instalación de los sensores en el piso, es importante explicarles que función tiene cada sensor y que variable está registrando, por ejemplo el sensor de nivel acústico que tiene forma de micrófono es importante explicarles que el sensor solo registra ruido acústico y no registra conversaciones. Los sensores instalados estarán tres días registrando datos y en el tercer día se procederá a su retirada.

En cuanto a las limitaciones del trabajo una de ellas ha sido la incapacidad de verificar durante los tres días de medición que se estén produciendo correctamente estos registros de datos ya que hasta el tercer día que se produce la recogida de los sensores es imposible verificar de forma remota si el sensor por ejemplo se ha parado.

### 3. Estudio experimental

#### 3.1. Clima en Barcelona

Para poder realizar un estudio riguroso sobre el acondicionamiento térmico de un piso, es importante analizar a qué condiciones climáticas exteriores está sometido, ya sea condiciones de temperatura, de humedad, de horas de sol o de cantidad de lluvias anuales. Por este motivo se hace imprescindible tener presente que tipo de situación ambiental tiene la ciudad de Barcelona.

Barcelona es una ciudad ubicada en la orilla del mar Mediterráneo, concretamente a unos 15 metros sobre el nivel del mar, a unos 120 km al norte de la ciudad encontramos los Pirineos y la frontera con Francia. Se ubica en un pequeño llano litoral limitado por el mar al este, la sierra de Collserola al oeste, el río Llobregat al sur y el río Besós al norte.

Al estar ubicada al lado del mar, posee un clima Mediterráneo con influencias marítimas. Según los criterios de la clasificación de clasificación de **Köppen-Geiger** podemos considerar que Barcelona se encuentra próxima a una zona de transición del clima subtropical de veranos secos y calurosos a un clima subtropical húmedo.

En los meses invernales las temperaturas suelen ser suaves mientras que en los meses de verano las temperaturas son muy cálidas. La oscilación térmica diaria suele ser escasa siendo de unos 8°C de media. En cuanto a la amplitud térmica actual la podríamos situar entorno a los 15°C que si lo comparamos con otras zonas del interior peninsular observamos que es más reducida.

La temperatura media en Barcelona se sitúa alrededor de los 18 °C debido al efecto de isla de calor en las zonas urbanas, siendo más cálido que en otras zonas colindantes no tan densamente urbanizadas y siendo menores en las zonas montañosas del municipio debido a la altitud.

Los meses de invierno son relativamente suaves donde Enero es el mes más frío con una temperatura media de 12°C. Las nevadas son excepcionalmente raras en el periodo invernal las cuales se registran un día de nieve cada 2 o 3 años en la zona montañosa que rodea la ciudad ya que su altitud se encuentra en unos 400msnm.

En cuanto a los períodos estivales podemos considerarlos bastante cálidos donde el mes de Agosto es el mes mas caluroso con una temperatura media de 26 °C alcanzándose máximas de 28 y 29°C de media. Un efecto a tener en cuenta en los periodos estivales es la sensación de *bochorno* debida a la alta humedad del ambiente.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	22.4	24.8	28.8	27.7	31.6	35.8	36.8	38.2	33.4	32.6	26.1	23.1	38.2
Temp. máx. media (°C)	14.8	15.6	17.4	19.1	22.5	26.1	28.6	29.0	26.0	22.5	17.9	15.1	21.2
Temp. media (°C)	11.8	12.4	14.2	15.8	19.3	23.0	25.7	26.1	23.0	19.5	14.9	12.3	18.2
Temp. mín. media (°C)	8.8	9.3	10.9	12.5	16.1	19.8	22.7	23.1	20.0	16.5	11.9	9.5	15.1
Temp. mín. abs. (°C)	-1.0	0.6	0.4	6.2	6.3	12.4	15.5	15.2	12.5	5.4	1.7	0.7	-1.0

Figura 3.1 Registro de temperaturas (Fuente: Wikipedia)

Si observamos las precipitaciones anuales vemos que la precipitación media anual se sitúa en torno a los 600mm donde el máximo de precipitaciones se encuentran entre los meses comprendidos entre el fin del verano y principio del otoño. A menudo estas precipitaciones son originadas por el fenómeno conocido como gota fría. Los períodos de menor precipitaciones los encontramos al comiendo del verano donde la media se sitúa en 20mm en julio. A pesar de las pocas precipitaciones en algunos períodos anuales, la humedad del ambiente suele ser alta durante todo el año debido a la situación geográfica de Barcelona situándose al lado del mar. La humedad media anual suele estar entre el 69 y 70%.

Precipitación total (mm)	43.7	31.4	33.0	47.7	47.4	25.5	25.1	40.8	81.9	96.5	45.1	46.8	565.0
Días de precipitaciones (≥ 1 mm)	6.0	5.0	6.2	7.9	7.5	5.5	3.1	5.8	8.0	8.0	6.6	7.0	76.6
Días de nevadas (≥ 1 mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3.2 Precipitaciones ordenadas por mes (Fuente: Wikipedia)

Si analizamos las horas de sol anuales podemos observar como los meses donde se producen mayores horas de sol son los meses estivales siendo el mes de Junio el mes con mayor cantidad de horas con unas 350 horas. Por el contrario también se observa que los meses donde se producen menos horas de sol son los meses de invierno siendo el mes de Febrero donde menos horas de sol se producen.

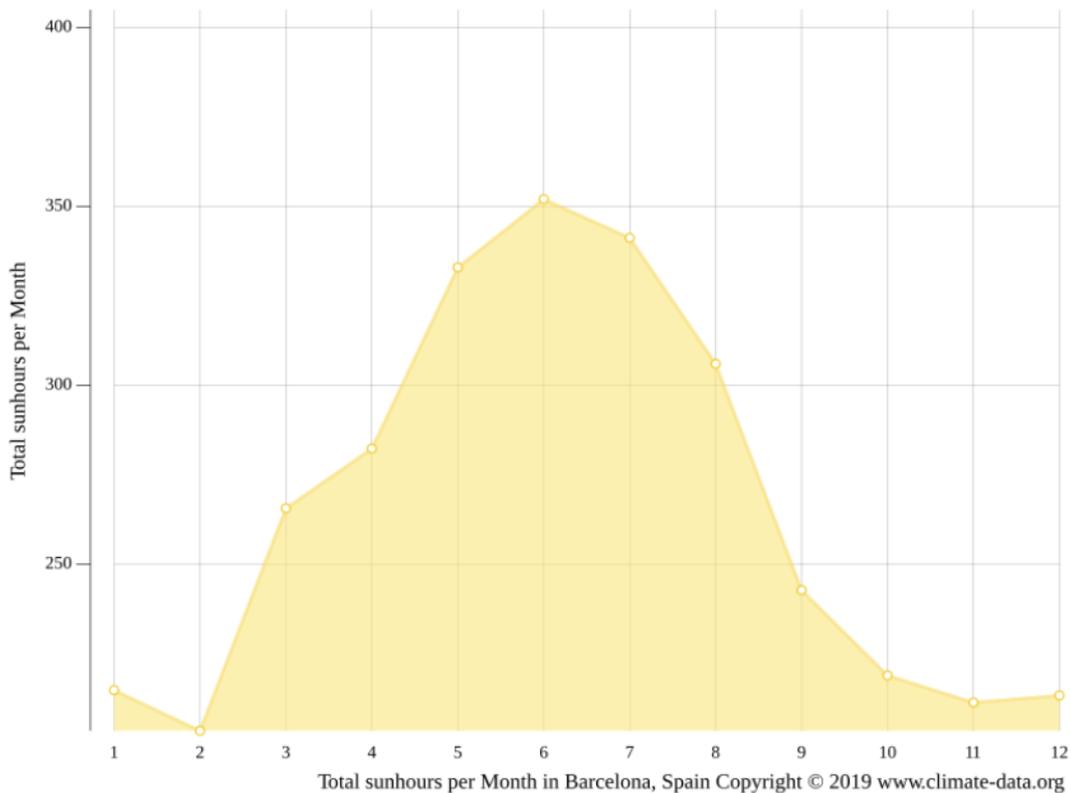


Figura 3.3 Horas de sol mensuales (Fuente: Climate-data.org)

### 3.2. Análisis del consumo eléctrico

El objetivo de este proyecto es referenciar todo el resto de variables medidas y calculadas respecto la variable base que será el consumo eléctrico. Por ello, se hace indispensable realizar un estudio de cómo se comporta o que factores condicionan más el consumo eléctrico de una vivienda media en España.

Si observamos los datos registrados en el IDAE (**Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía**) donde observamos una gran muestra de datos obtenidos mediante 9000 entrevistas y 600 mediciones reales.

Según IDAE el consumo energético de las viviendas españolas representa un 20% del consumos de energía anual y 25% del consumo de la energía eléctrica.

Si bien es cierto que el consumo medio de electricidad varía en función del tipo de vivienda (Casa o Piso) y de la ubicación de esta por ejemplo Zona Continental (Viviendas al Norte del país), Zona Atlántica (Viviendas en el Centro de España) o Zona Mediterránea (Viviendas cerca de la costa), podemos establecer que un hogar en España tiene un consumo promedio de 9.922 Kilovatios-hora (KWH).

Mediante la Tabla podemos observar el consumo medio de electricidad anual según si se trata de un piso o una casa unifamiliar y su ubicación geográfica.

Tipo de Vivienda	Zona Mediterránea	Zona Continental	Zona Atlántica	Toda España
Unifamiliares	14.598 KWH	21.445 KWH	21.670 KWH	17.011 KWH
Pisos	6.386 KWH	10.044 KWH	9.981 KWH	7.859 KWH

Figura 3.4 Consumo en función de la localización geográfica (Fuente: Tarifasdeluz)

Si observamos la tabla vemos que el mayor consumo se registra en casas unifamiliares ubicadas en la Zona Atlántica.

En base al estudio de IDAE, el uso de la calefacción representa la mitad de todo el consumo e inclusive, en el caso de casas unifamiliares este porcentaje puede representar hasta un 70% del consumo.

En la siguiente tabla observamos el consumo eléctrico medio anual agrupado por grupos de consumo según su uso.

Aparatos eléctricos	Consumo medio de electricidad anual (Kwh)
Calefacción	5.172 Kwh
Electrodomésticos	1.924 Kwh
Cocina	737 Kwh
Iluminación	410 Kwh
Aire Acondicionado	170 Kwh

Figura 3.5 Consumo de cada conjunto (Fuente: Tarifasdeluz)

Estos datos son sumamente positivos ya que esto nos confirma la idea de que utilizar la variable consumo como la variable base respecto la cual se referenciarán y compararán el resto. Este proceso nos puede permitir llegar al objetivo estadístico de estudiar como interacciona en invierno el consumo en base al comportamiento de la temperatura del piso en ese momento.

### ***Estructura de Consumo según Uso Energético***

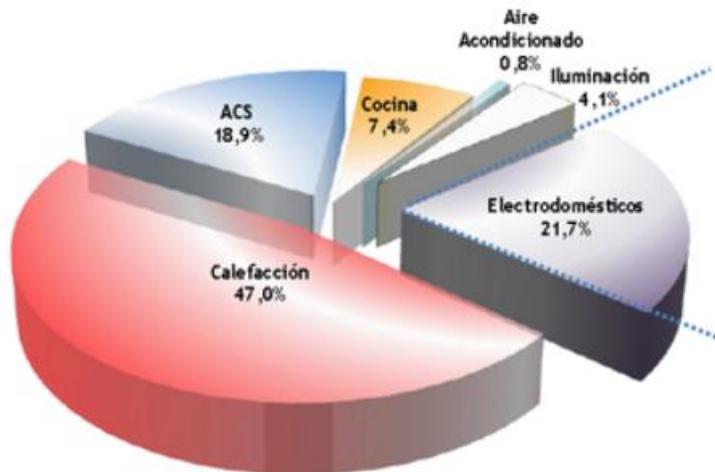


Figura 3.6 Distribución de consumo (Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía)

Si observamos el tipo de sistemas de calefacción mayoritario en España vemos que es la caldera convencional, presente en alrededor del 50% de los hogares españoles haciéndose más presente en la zona Continental y en viviendas en bloque de pisos. En la zona Mediterránea vemos una mayor instalación de bombas de calor reversibles, calefactores y radiadores.

En el caso de equipamientos más nuevos y eficientes como por ejemplo calderas de condensación aún es escasa, siendo de un 1% de los hogares con calefacción.

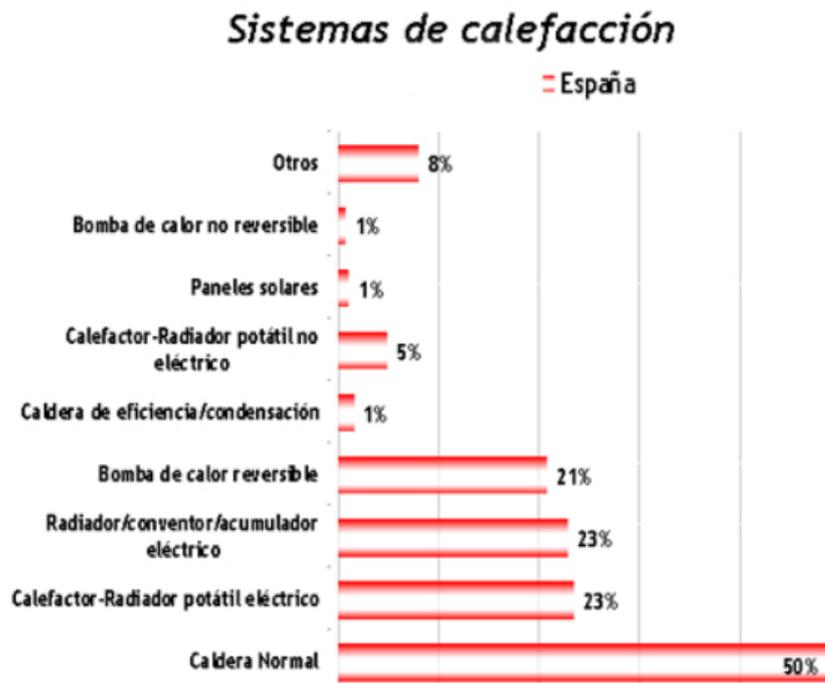


Figura 3.7 Sistemas de calefacción en España (Fuente: Construible.es)

### 3.3. Cálculo de variables

Si bien es cierto que mediante los sensores podemos registrar la mayoría de variables que con formarán el estudio, hay algunas variables las cuales no pueden ser registradas directamente mediante sensores. Estas variables que también complementarían el estudio ya sea el actual o en el futuro a veces se hayan mediante la combinación de otras dos variables que sí que han estado medidas mediante sensores.

#### 3.3.1. Temperatura de bulbo seco

La temperatura del bulbo seco es aquella temperatura la cual se registra directamente en un termómetro convencional de mercurio o similar donde cuyo bulbo se encuentra seco.

La unidad de medida en el Sistema Internacional es el Kelvin (K), aunque sigue utilizándose y está muy generalizado el grado Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ). En los países anglosajones sigue utilizándose la escala Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ).

$$K = ^{\circ}\text{C} + 273,15 \quad (\text{Eq.3.1})$$

$$^{\circ}\text{C} = \frac{{}^{\circ}\text{F} - 32}{1,8} \quad (\text{Eq.3.2})$$

### 3.3.2. Temperatura de bulbo húmedo

La temperatura del bulbo húmedo es aquella temperatura que medimos mediante el proceso de colocar un paño de algodón empapado de agua envuelto al bulbo de un termómetro de mercurio. Este proceso nos permite tener un conocimiento de la sensación térmica, para posteriormente calcular la humedad relativa o el punto de rocío.

Mediante el diagrama psicrométrico o también conocido como carta psicrométrica mediante dos valores de entrada, unos de los cuales siendo la temperatura seca, se puede conocer el resto de las propiedades de las mezclas de aire seco y vapor de agua.

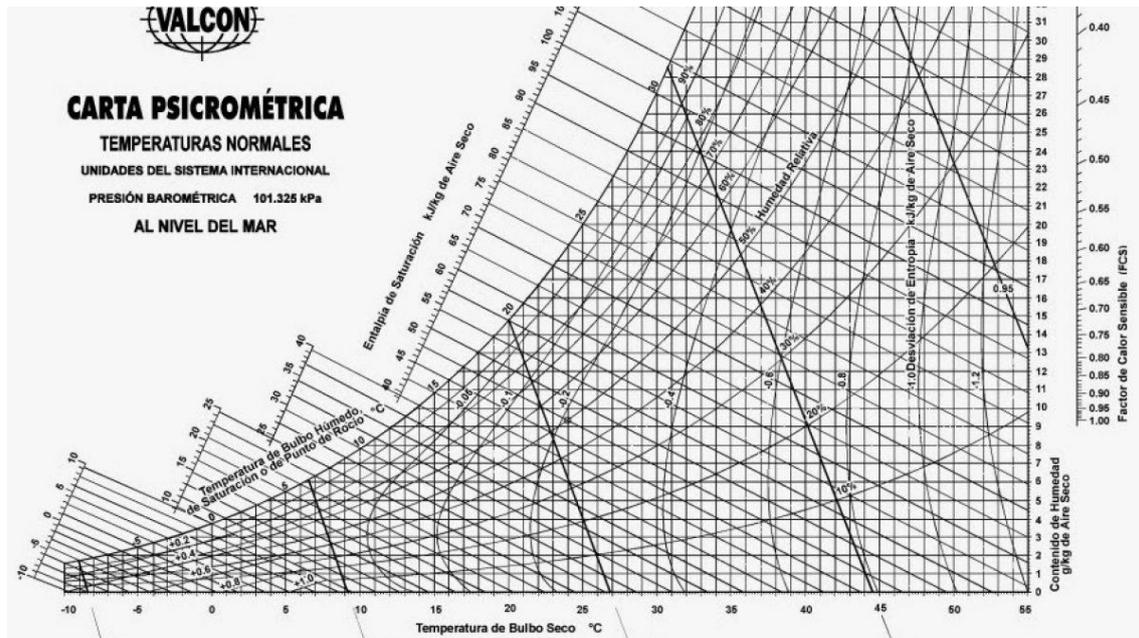


Figura 3.8 Carta psicrométrica (Fuente: Wikipedia)

El proceso de calcular la temperatura de bulbo húmedo en función de la temperatura de bulbo seco mediante la carta psicrométrica puede resultar de ser un proceso lento y susceptible de sufrir errores. Es por ello que existe un método matemático mediante fórmula para hallar esta temperatura.

Una buena aproximación matemática es partir de la fórmula empírica de Magnus para la tensión de vapor saturante:

$$E = G * 10^{\frac{K+T}{Z+T}} \tag{Eq.3.3}$$

Dónde:

- E: Tensión de vapor saturante en Hpa., para 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

Para el desarrollo de la fórmula partimos de la fórmula de la humedad relativa:

$$Hr = 100 * \frac{E_1}{E_2} \quad (\text{Eq.3.4})$$

Dónde:

- **Hr**: Humedad relativa en tanto por ciento
- **E<sub>1</sub>**: Tensión de vapor
- **E<sub>2</sub>**: Tensión saturante sobre agua, a la temperatura del termómetro seco.

La tensión de vapor E<sub>1</sub> utilizada en la fórmula de la humedad relativa la podemos hallar de la siguiente forma:

$$E_1 = E' - B * P * (T' - T_b) \quad (\text{Eq.3.5})$$

Dónde:

- **E'**: Tensión saturante en Hpa., para 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)
- **T<sub>b</sub>**: Temperatura del termómetro húmedo

Si aplicamos la fórmula de Magnus para la tensión saturante a E<sub>2</sub> en la ecuación de la humedad relativa y para E' en la fórmula de la tensión de vapor E<sub>1</sub>, se obtienen las siguientes expresiones:

$$E_2 = G * 10^{\frac{K*T}{Z+T}} \quad (\text{Eq.3.6})$$

$$E_1 = G * 10^{\frac{K*T}{Z+T}} - B * P * (T' - T_b) \quad (\text{Eq.3.7})$$

Si sustituimos las ecuaciones E<sub>2</sub> y E<sub>1</sub> en la ecuación de la humedad relativa obtenemos que:

$$HR = \frac{G * 10^{\frac{K*T_b}{Z+T_b}} - B * P * (T - T_b)}{G * 10^{\frac{K*T}{Z+T}}} \quad (\text{Eq.3.8})$$

Si realizamos unos ajustes mediante propiedades matemáticas obtenemos:

$$\frac{HR}{100} = \frac{10^{\frac{K*T_b}{Z+T_b}} - \frac{B*P}{G} * (T - T_b)}{10^{\frac{K*T}{Z+T}}} \quad (\text{Eq.3.9})$$

Para poder aislar T<sub>b</sub> hay que desarrollar en el numerador una serie exponencial, para ello se aplicará la siguiente expresión:

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} * (x - x_0) + \frac{f''(x_0)}{2!} * (x - x_0)^2 + \dots \quad (\text{Eq.3.10})$$

Por tal de facilitar el procedimiento solo se realizará hasta la primera derivada. Para asegurar una buena aproximación, el desarrollo de la serie exponencial debe hacerse entorno a una temperatura aproximada a la del termómetro húmedo que representaremos por T<sub>e</sub>.

$$10^{\frac{K*T_b}{Z+T_b}} = \left[ 1 + \frac{K*Z*\ln 10}{(Z+T_e)^2} * (T_b - T_e) \right] * 10^{\frac{K*T_e}{Z+T_e}} \quad (\text{Eq.3.11})$$

Si sustituimos la ecuación en la ecuación 3.16 obtenemos:

$$\frac{Hr}{100} = \frac{\left[ 1 + \frac{K*Z*\ln 10}{(Z+T_e)^2} * (T_b - T_e) \right] * 10^{\frac{K*T_e}{Z+T_e}} - \frac{B}{G} * P * (T - T_b)}{10^{\frac{K*T}{Z+T}}} \quad (\text{Eq.3.12})$$

Si aislamos  $T_b$  de la expresión anterior:

$$T_b = \frac{\frac{Hr}{100} * 10^{\frac{K*T}{Z+T}} + \frac{B}{G} * P * T - \left[ 1 + \frac{K*Z*\ln 10}{(Z+T_e)^2} * T_e \right] * 10^{\frac{K*T_e}{Z+T_e}}}{10^{\frac{K*T}{Z+T}}} \quad (\text{Eq.3.13})$$

Para ir obteniendo los diferentes valores de  $T_b$  se tiene que ir realizando un proceso iterativo donde la primera iteración establecemos que la  $T_e = T$ , es decir, en la primera iteración consideramos que la temperatura estimada es igual a la temperatura del termómetro seco. Una vez sacamos la primera  $T_b$ , asignamos este nuevo valor a  $T_e$  y así sucesivamente

### 3.3.3. Sensación térmica

Consideramos la sensación térmica a la reacción que sufrimos ante el conjunto de condiciones ambientales que nos rodean desde un punto de vista térmico.

Normalmente asociamos de forma coloquial esta sensación térmica al valor que marca el termómetro, pero la sensación térmica también viene definida por otra serie de parámetros que pueden mejorarla o empeorarla.

Otros parámetros que también condicionan la sensación térmica son:

- Temperatura seca
- Temperatura radiante media
- Humedad relativa del aire, que puede obtenerse a partir de la temperatura húmeda.
- Velocidad del aire.

Se considera que la variable Humedad condiciona considerablemente la sensación térmica en situaciones extremas, tanto en temperaturas muy altas como en temperaturas muy bajas. Cuando existe una temperatura considerablemente alta y paralelamente nos encontramos en un ambiente húmedo, esta humedad incrementa la sensación de calor debido a que una humedad alta dificulta el proceso de transpiración corporal. Por el contrario, en ambientes donde la humedad es baja se facilita la evaporación del sudor corporal, por lo que nuestra percepción térmica será menor y la sensación térmica puede llegar a ser menor incluso que la temperatura ambiente.

A la hora de calcular esta sensación térmica, es importante remarcar que dependiendo el periodo anual en el que se desea calcular la ecuación será distinta.

En el caso de calcular la sensación térmica en época estival se utilizará la ecuación de la agencia española de meteorología:

$$ST = -8,78469476 + 1,61139411 * T + 2,338548839 * HR - 0,14611605 * T * HR - 0,012308094 * T^2 - 0,016424828 * HR^2 + 0,002211732 * T^2 * R + 0,00072546 * T * HR^2 - 0,000003582 * T^2 * HR^2 \quad (\text{Eq.3.14})$$

Dónde:

- ST: Sensación térmica
- T: Temperatura en °C.
- HR: Humedad relativa del aire en %

Por el contrario, si deseamos calcular la sensación térmica en época invernal se optará por el conjunto de ecuaciones de Robert Steadman:

$$ST = T_a + 0,348 * e - 0,70 * ws + 0,70 * \frac{Q}{ws+10} - 4,25 \quad (\text{Eq.3.15})$$

Dónde:

- ST: Sensación Térmica
- Ta: Temperatura bulbo seco (°C)
- e: Presión de vapor (hPa)
- ws: Velocidad del aire (m/s)
- Q: Radiación neta absorbida por unidad de superficie corporal (W/m<sup>2</sup>)

En el caso de nuestro estudio no se tendrá en cuenta ni la velocidad del aire ni la Radiación absorbida por lo que la ecuación quedará:

$$ST = T_a + 0,348 * e - 4,25 \quad (\text{Eq.3.16})$$

Donde la presión de vapor de agua se calculará de la siguiente forma:

$$e = \frac{rh}{100} * 6,105 * e^{\frac{17,27 * T_a}{237,7 + T_a}} \quad (\text{Eq.3.17})$$

Dónde:

- rh: Humedad relativa (%)

## 4. Variables medidas

### 4.1. Temperatura

Consideramos la temperatura como aquella propiedad de un sistema la cual nos indica si el sistema se encuentra en equilibrio térmico o no respecto otros sistemas. Esta noción que viene relacionada con el principio cero de la termodinámica, cumple el principio que el calor pasa de los cuerpos calientes a los fríos hasta que se igualan las temperaturas siendo independiente de la naturaleza o composición de cada sistema

Se trata de una magnitud escalar medible mediante el termómetro, está relacionada directamente con la energía interna asociada a los movimientos de las partículas del sistema.

En el caso de un sólido, los movimientos son las vibraciones de las partículas en sus posiciones dentro del sólido. En el caso de un gas ideal monoatómico se trata de los movimientos traslacionales de sus partículas.

En nuestro estudio tenemos diversos sensores y aparatos de medición mediante los cuales seremos capaces de registrar estas temperaturas ya sean ambientales o superficiales de una pared.

#### Sensor de temperatura superficial



Figura 4.1 Sensor de temperatura superficial (Fuente: Eduard Muñoz)

- **Descripción y características**

Este sensor se trata de un instrumento de medición de temperaturas superficiales modelo SD200 de la marca Exttech Instruments.

Este sensor esta lleva integrado tres puertos para tres termopares tipo K, estos tres termopares los podemos colocar en las superficies que más nos interesen medir su temperatura.

La medición de cada termopar es mostrada en la pantalla, y este sensor graba directamente los datos en una tarjeta SD que lleva integrada ya que no tiene un software propio.

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  $\pm(0.5\%+0.5^{\circ}\text{C})$ .

- **Configuración previa**

El sensor al no tener ningún software propio, toda la configuración se deberá de hacer mediante la propia consola. Primeramente hemos de insertar la tarjeta SD que lleva el sensor en el ordenador y borrar el registro de datos antiguo para aligerar la memoria, posteriormente introduciremos nuevamente la tarjeta SD en el sensor. A través de la propia consola del sensor ajustaremos fecha y hora y configuraremos el intervalo de medición cada 600s que son 10 minutos entre medición y medición. También es importante configurar las unidades de la temperatura a °C y desactivar la alarma sonora para no causar molestia.

- **Proceso de medición**

En el caso de este sensor al estar delimitados por el largo de los termopares, los tres termopares han de estar en la misma habitación. Normalmente se escoge una habitación donde al menos dos de sus paredes tengan diferentes condiciones térmicas por ejemplo una pared con salida a una medianera o una pared con salida a una terraza. También es interesante en pisos que sean áticos, colocar el tercer termopar en el techo para observar el comportamiento térmico de este.

En general se ha optado por utilizar dos termopares donde uno de ellos se coloca a través de la puerta o ventana en la cara exterior de la pared y el otro se coloca por dentro para observar las diferencias de comportamiento que sufre la pared entre su cara exterior e interior.

Para la sujeción de estos termopares a la superficie simplemente con un trozo de cinta de carroceros ya es más que suficiente para que quede adherido a la pared. Es importante remarcar que el extremo del termopar debe quedar completamente tapado y en contacto con la pared para evitar que lo que registre sea la temperatura ambiental de la habitación.

## 4.2. Humedad relativa

Conocemos por humedad relativa a la relación de la presión parcial del vapor de agua  $t$  la presión de vapor de equilibrio del agua a una temperatura específica.

Esta humedad relativa viene determinada tanto por la temperatura así como por la presión del sistema que se está evaluando.

La humedad relativa normalmente se expresa como un porcentaje, un porcentaje más alto nos indica que la mezcla de aire y agua es más húmeda, En el caso de producirse un 100% de humedad relativa, nos indicaría que el aire está saturado y se encuentra en su punto de rocío.

### Termohigrómetro



Figura 4.2 Termohigrómetro (Fuente: Eduard Muñoz)

- **Descripción y características**

Un termohigrómetro es un sensor el cual nos permite registrar temperatura y humedad relativa.

El termohigrómetro Elitech RC-4HC tiene las siguientes características:

- Rango de medición de temperatura: -30 oC a 60 oC.
- Precisión de temperatura: Para temperaturas entre -20 oC y 40 oC precisión de  $\pm 0,5$  oC. Para el resto de temperaturas, tiene un rango de  $\pm 1,0$  oC.
- Unidad de temperatura: Grados Celsius (oC) o Grados Fahrenheit (oF).
- Rango de medición de humedad: Entre el 0 y el 99 % RH
- Precisión de humedad:  $\pm 3\%$  RH para una temperatura de 25 oC entre el 20 % RH y el 90 % RH. El resto de  $\pm 5\%$  RH.
- Resolución: Temperatura 0,1 oC; 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

- **Configuración previa**

Lo primero que debemos de hacer para iniciar el proceso de configuración del sensor es descargar el software que nos permitirá entrar en la configuración del sensor. Dentro de este software podremos cambiar los parámetros y condiciones de medición, y posteriormente podremos recopilar los datos para exportarlos en el formato requerido. El software utilizado es el ElitechLog V4.4.0. mediante el cual se ha configurado los siguientes parámetros:

- El intervalo de tiempo entre cada medición será de 10 minutos.
- Las unidades de temperatura serán en grados Celsius.
- La alarma estará apagada para evitar ocasionar molestia a los inquilinos.
- El rango de temperatura oscilará entre 60 y -30°C.
- El sensor iniciará la medición en el momento de pulsar el botón play.

Al conectar el sensor al ordenador mediante un cable USB, el software lo reconoce y se puede acceder entonces a los parámetros del sensor.

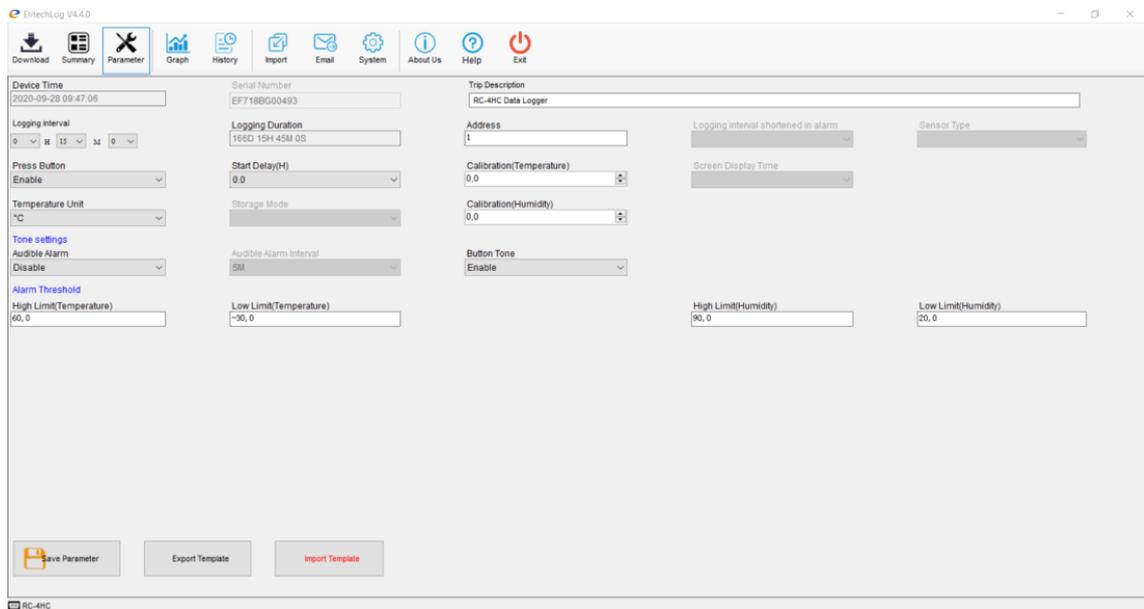


Figura 4.3 Software Termohigrómetro (Fuente: Nil Romeu)

No es imprescindible, pero si sería interesante borrar el registro de datos anterior si hubiese para evitar la situación que el sensor dejase de medir porque la memoria estuviese llena.

- **Proceso de medición**

Una vez nos encontramos en el interior del piso a medir, es importante realizar una visión general para ver donde puede ser más interesante la instalación del termohigrómetro. El hecho de tener dos termohigrómetros, nos permite registrar temperatura y humedad de dos puntos distintos del piso. Normalmente siempre se ubica uno de ellos en el dormitorio principal y el otro en un dormitorio secundario si existe. Hay que tener precaución de colocar

los sensores en un lugar donde no ocasionen mucha molestia y así evitar que puedan ser manipulados.

Para que el sensor empiece a registrar datos solo hay que mantener pulsado el botón unos segundos hasta que aparezca el símbolo play en la pantalla lo que nos estará indicando que el sensor ya está operativo.

### 4.3. Calidad del aire

Realizar un estudio de la concentración de CO<sub>2</sub> en los pisos de la muestra es sumamente importante ya que esta variable nos da una idea de la ventilación de la vivienda.

Si bien es cierto que el dióxido de carbono no es tóxico para la salud humana, tampoco podemos considerar que no tenga ningún efecto sobre nuestra respiración, altas concentraciones de este gas en un espacio interior pueden producir una sensación poco confortable debido a que desplaza el oxígeno del aire y hace que la respiración se vuelva más fatigosa.

Se considera que un espacio no tiene una buena ventilación cuando la concentración de CO<sub>2</sub> supera las 800ppm. En concentraciones cercanas a la 30.000 ppm, puede causar dolores de cabeza, falta de concentración, somnolencia, mareos y problemas respiratorios.

Se recomienda que personas que puedan tener problemas respiratorios como por ejemplo asma deben mantener las viviendas bien ventiladas para tener concentraciones de CO<sub>2</sub> bajas.

En referencia a nuestro estudio observamos que uno de los causantes de grandes concentraciones de CO<sub>2</sub> es el encendido de radiadores o calefactores enchufables en comedores o habitaciones frecuentadas ya que estos radiadores al calentar las resistencias, generan una quema de polvo ambiental que aumenta las concentraciones de CO<sub>2</sub>

#### Sensor de calidad de aire



Figuras 4.4 Sensor de CO<sub>2</sub> (Fuente: Eduard Muñoz)

- **Descripción y características**

Este sensor modelo IM-502 de la marca RS PRO registra tanto la temperatura, humedad relativa como el dióxido de carbono de la habitación donde está ubicado.

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%.

En el caso de este sensor no tomaremos en cuenta la temperatura ni la humedad relativa ya que estas variables las registraremos mediante los termohigrómetros.

- **Configuración previa**

En el caso de este sensor si que tiene un software mediante el cual podremos cambiar su configuración y los parámetros que nos interesen, el software utilizado es el Indoor Air Quality Data Logger.exe.

Para la configuración de este sensor simplemente deberíamos asegurarnos que la unidad de temperatura es en °C y que el periodo entre cada medición es de 10 minutos.

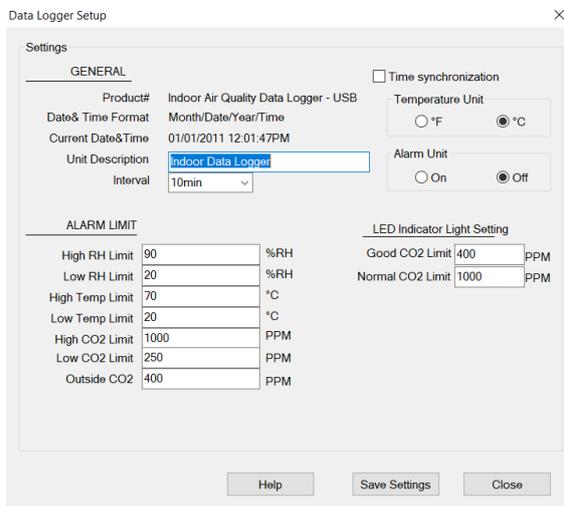


Figura 4.5 Software Sensor CO<sub>2</sub> (Fuente: Nil Romeu)

- **Proceso de medición**

A diferencia de los otros sensores, este sensor no tiene batería propia por lo que debe estar siempre enchufado a la red eléctrica, este condicionante hace que debamos colocarlos siempre cerca de un enchufe. Normalmente este sensor se suele ubicar en la estancia principal del piso, es decir en el salón, ya que es en ese espacio donde se suele producir la mayor interacción entre los inquilinos. Este sensor nos permitirá observar si se produce una buena ventilación en el salón o por el contrario tiende a acumularse mucho el aire. Este sensor también es muy interesante ya que nos sirve para sacar conclusiones de cómo se comporta el aire en estas estancias cuando por ejemplo se enchufa un radiador eléctrico.

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

#### 4.4. Flujo de calor

El flujo de calor o densidad de flujo de calor es el flujo de energía que atraviesa una unidad de área determinada en un tiempo determinado. Su unidad de medida en SI son los vatios por metro cuadrado ( $W \cdot m^{-2}$ ). El flujo de calor se considera una cantidad vectorial atendiendo al hecho que tiene una dirección y magnitud definidas.

El flujo de calor normalmente se denota  $\vec{\Phi}_q$  donde q especifica que se trata de flujo de calor, en contraposición al flujo de masa o de momento.

Si prestamos atención a la mayoría de sólidos que se encuentran en condiciones normales, el calor principalmente se transporta por conducción y por tanto podemos describir el flujo de calor mediante la ley de Fourier:

$$\vec{\Phi}_q = -K * \frac{dT(x)}{dx} \quad (\text{Eq.4.1})$$

Dónde:

**-K:** Conductividad térmica

**-Signo negativo:** Nos indica que el calor se mueve de zonas de mayor temperatura a zonas de menor temperatura

En el caso de flujos de calor multidimensionales se ejemplifica mediante la expresión:

$$\vec{\Phi}_q = -K * \nabla * T \quad (\text{Eq.4.2})$$

Dónde:

**-\nabla:** Operador gradiente

## Sensor de flujo de calor



Figura 4.6 Sensor de flujo de calor (Fuente: Nil Romeu)

### • Descripción y características

El sensor de flujo de calor nos permite registrar el flujo térmico que transcurre a través de la membrana receptora del sensor. Nuestro sensor de flujo de calor se trata de un sensor greenTEG modelo Gskin dlog-4219 en el caso de la consola que registra los datos, y modelo XP 26 9C en lo que se refiere a la membrana receptora.

Las características principales del sensor son las siguientes:

- 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  $\pm 3\%$ .

### • Configuración previa

En el caso de este sensor disponemos del software greenTEG Logger V1.02.09 para su configuración y el posterior tratamiento de datos. 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  $16.51 \mu\text{V}/(\text{W/m}^2)$ , establecida por el fabricante

Se establecerá la programación de inicio del sensor en 3 horas desde la desconexión del ordenador para así asegurarnos que inicia a medir cuando ya estemos en el piso.

- **Proceso de medición**

Normalmente el sensor de flujo de calor busca ubicarse en una pared que este en contacto con el exterior ya sea en una medianera o a la calle directamente.

Es interesante colocar en la misma pared el sensor de flujo de calor juntamente con el sensor de temperatura superficial ya que podríamos conocer la conductividad térmica de la pared mientras analizamos la temperatura superficial exterior e interior.

Para fijar el sensor a la superficie nos ayudaremos de una resina térmica la cual nos asegurará que la membrana queda completamente fijada a la pared.

## 4.5. Contaminación acústica

Consideramos contaminación acústica al exceso de ruido que altera las condiciones normales de ambiente en un determinado espacio. Si bien es cierto que el ruido no perdura o se acumula, la exposición continuada a un ruido que exceda los niveles regulados puede causar daños en la calidad de vida de las personas.

Las principales causas de la contaminación acústica son aquellas relacionadas con las actividades humanas como el transporte, la construcción de edificios, obras públicas, las industrias etc..

Según un estudio de la Organización Mundial de la salud (OMS) el límite superior para considerar un ruido excesivo son los 70 dB. En el caso de nuestro país, los 55dB se establecen como un nivel de confort acústico, por encima de ese nivel el ruido ya puede ocasionar alteraciones de sueño y comunicación.

Según estudios de la Unión Europa 80 millones de europeos están expuestos diariamente a niveles de ruido superiores a 65 dB.

Una exposición prolongada a niveles de ruido muy elevados puede ocasionar problemas de salud graves.

- Problemas de salud derivados de exposiciones prolongadas a sonidos elevados:

**-Efectos psicológicos:** Como por ejemplo insomnio, estrés, fatiga, aislamiento laboral, irritabilidad..etc.

**-Efectos sobre el sueño:** Falta de conciliación del sueño, sueños poco profundos, perturbaciones en el sueño..etc.

**-Efectos sobre la conducta:** Aumento de la agresividad, irritabilidad, inquietud,inseguridad..etc.

**-Efectos en la memoria:** Disminución del rendimiento académico, adquisición de conocimientos más lenta, desgaste psicológico..etc.

**-Efectos en la atención:** Perdida de concentración en la actividad.

**-Efectos en el embarazo:** Después del parto los niños no soportan el ruido, al nacer tienen un tamaño inferior al normal y pueden desarrollar problemas auditivos.

**-Efectos sobre los niños:** Repercusión sobre el aprendizaje y la salud, incapacidad de atender a señales acústicas, perturbaciones en la capacidad de escuchar, retraso en el aprendizaje de la lectura..etc.

## **Sonómetro**

- **Descripción y características**

Un sonómetro es un sensor el cual nos permite registrar ruido en cantidad de decibelios. 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.

- **Configuración previa**

En el caso de este sensor también tiene software propio para poder exportar los datos. A nivel de configuración es importante seleccionar 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. En el caso del rango de medición se seleccionará el de 30-80 dB para que sobretodo registre frecuencias bajas.

- **Proceso de medición**

Para su instalación normalmente se opta por ubicarlo en dirección a una pared que dé al exterior, esto nos permitirá registrar la contaminación sonora que proviene de la calle.

Como la capacidad de almacenamiento es de 32700 valores su capacidad de almacenamiento es de 8 horas aproximadamente, a partir de las cuales el sensor se apaga automáticamente.

## 4.6. Mediciones Externas

Paralelamente al registro de datos en el interior de los pisos mediante los sensores. A la matriz global de datos también se han añadido datos obtenidos mediante fuentes externas los cuales dotan al estudio de una mayor envergadura y completitud.

### Red de estaciones XEMA

La red de estaciones XEMA es un conjunto de estaciones meteorológicas automáticas gestionadas por el servicio Meteorológico de Cataluña (SMC) y que se integra en la Red de Equipamientos Meteorológicos de la Generalidad de Cataluña (Xemec) la cual fue creada por la Ley 15/2001, de 14 de noviembre, de meteorología.

La Red XEMA está compuesta por un total de 186 Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA).

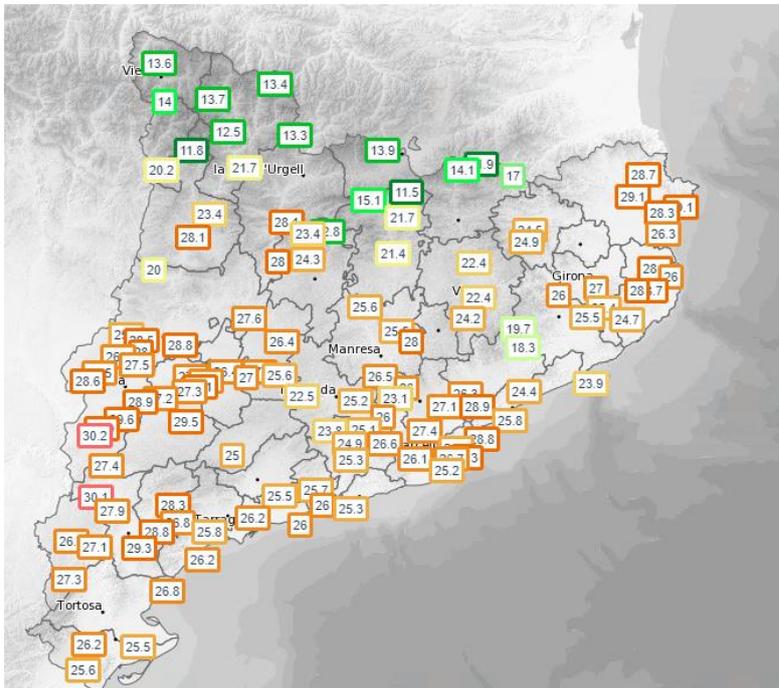


Figura 4.7 Mapa Red XEMA (Fuente:Meteo.cat)

Estas Estaciones Meteorológicas Automáticas registran a tiempo real cada media hora las variables:

- ❖ Temperatura
- ❖ Humedad
- ❖ Precipitación

- ❖ Velocidad media del viento
- ❖ Dirección media del viento
- ❖ Racha media del viento
- ❖ Presión atmosférica media
- ❖ Irradiación solar global media

En nuestro caso concretamente recopilaremos los datos de la Estación Meteorológica número 4 ubicada en el barrio del Raval.

### Barcelona - el Raval

Municipi	Barcelona
Comarca	Barcelonès
Altitud	33 m
Data alta	11.10.2006
Estat actual	Operativa



Figura 4.8 Estación del Raval (Fuente: Meteo.cat)

### ⚡ Distribuidoras Eléctricas

Mediante las compañías eléctricas podemos obtener el consumo eléctrico por horas de las viviendas que están siendo medidas.

Estos datos son obtenidos mediante los inquilinos de las viviendas que han de registrarse en la página online de la compañía para descargar los datos de consumo correspondientes a las fechas en las que se obtuvieron las mediciones de los sensores.

En algunos pisos de la muestra no a sido posible obtener los datos referentes al consumo eléctrico ya que algunos de los inquilinos eran personas mayores sin internet ni correo electrónico con el que registrarse y en otros casos se trataban de familias sin recursos que tampoco disponía de internet



Figura 4.9 Distribución de las eléctricas

## 4.7. Estructura de datos

Una vez se adquieren toda la serie de datos es muy importante observar en que formato adquirimos cada conjunto de datos atendiendo a que cada sensor tiene sus peculiaridades de registro.

Para ello a continuación se mostraran en que formato registran cada sensor los datos de medición ya que de cara al método estadístico se tendrán que unificar estas configuraciones para poder ser tratadas en el software estadístico.

- **Termohigrómetros**

En el caso de la serie de datos registrada por los termohigrómetros, mediante su software podemos exportarlo en formato .xlsx, es decir en formato Excel.

Data Report					
File created on:2021-04-08 21:32:23					
<b>Device Information</b>					
Device Model	RC-4HC	Logging Interval	600	Start Time	2021-03-17 18:16:44
Total Space	16000	Press Button	Enable	Temperature Unit	°C
Storage Mode	N/A	Alarm Tone	Disable		
Button Tone	Enable	Logging interval shortened in	N/A		
<b>Trip Description</b>					
Serial Number	EF718BG00493				
Trip Description	RC-4HC Data Logger				
<b>Alarm Settings</b>		<b>Alarm Status</b>			
Ht:60,0°C	Normal				
Ideal Zone					
Lt:-30,0°C	Normal				
Above:90,0%RH	Normal				
Ideal Zone					
Below:20,0%RH	Normal				
<b>Summary</b>					
Data Points	1004		Mean Kinetic Temperature (M	21.3	
First Reading	2021-03-17 18:16:44		Last Reading	2021-03-24 17:26:44	
Maximum(Temperature)	23,4°C		Minimum(Temperature)	19,3°C	
Average(Temperature)	21,2°C		Recorded Period	6D 23H 10M 0S	
First Alarm(Temperature)	N/A				
Maximum(Humidity)	59,8%RH		Minimum(Humidity)	31,8%RH	
Average(Humidity)	47,1%RH				
First Alarm(Humidity)	N/A				

Figura 4.9 Datos Termohigrómetro (Fuente:Eduard Muñoz)

Lo primero que nos aparece en el sensor es toda la información referente a su configuración en el momento de la medición.

También nos muestra la cantidad de datos medidos, la franja de tiempo en que se midió y datos relativos a las temperaturas y humedades máximas y mínimas registradas.

No.	Time	Temperature°C	Humidity%RH
1	2021-03-17 18:16:44	20,6	59,8
2	2021-03-17 18:26:44	21,5	55,1
3	2021-03-17 18:36:44	21,5	55,1
4	2021-03-17 18:46:44	21,5	51,6
5	2021-03-17 18:56:44	21,3	50
6	2021-03-17 19:06:44	21,5	50
7	2021-03-17 19:16:44	21,6	50,6
8	2021-03-17 19:26:44	21,7	50,6
9	2021-03-17 19:36:44	21,7	50,6
10	2021-03-17 19:46:44	21,7	50,1
11	2021-03-17 19:56:44	21,7	50,1
12	2021-03-17 20:06:44	21,8	50,6
13	2021-03-17 20:16:44	21,9	51,1
14	2021-03-17 20:26:44	22	51,1
15	2021-03-17 20:36:44	22,2	51,6
16	2021-03-17 20:46:44	22,2	52,2
17	2021-03-17 20:56:44	22,2	51,2
18	2021-03-17 21:06:44	21,9	49,1
19	2021-03-17 21:16:44	21,7	49
20	2021-03-17 21:26:44	21,6	49,5
21	2021-03-17 21:36:44	22,1	49,6
22	2021-03-17 21:46:44	22,3	49,6
23	2021-03-17 21:56:44	22,1	50,1
24	2021-03-17 22:06:44	21,9	50,1
25	2021-03-17 22:16:44	21,8	50,6
26	2021-03-17 22:26:44	21,7	50,6
27	2021-03-17 22:36:44	21,6	51,1
28	2021-03-17 22:46:44	21,5	51,1
29	2021-03-17 22:56:44	21,5	51,1

Figura 4.10 Datos Termohigrometro (Fuente:Eduard Muñoz)

El conjunto de datos registrados nos los muestra por columnas donde la primera columna No. Corresponde al número de medición, la segunda columna Time nos muestra por orden el día y la hora en la que se efectuó esa medición y por ultimo las dos últimas columnas nos muestran la temperatura y humedad correspondiente a ese tiempo de medición.

- **Sensor de temperatura superficial**

En el caso de la serie de datos registrada por el sensor de temperatura superficial, este sensor registra directamente los datos de medición en formato .xlsx en la tarjeta de memoria que lleva integrada.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Position	Date	Time	Ch1_Value	Ch1_Unit	Ch2_Value	Ch2_unit	Ch3_Value	Ch3_unit
1	17/03/2021	18:28:14	21,1	DEGREE C	99999999	DEGREE C	22,2	DEGREE C
2	17/03/2021	18:38:14	20,4	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,7	DEGREE C
3	17/03/2021	18:48:14	20,1	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,2	DEGREE C
4	17/03/2021	18:58:14	20	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,2	DEGREE C
5	17/03/2021	19:08:14	20,1	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,4	DEGREE C
6	17/03/2021	19:18:14	20,1	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,3	DEGREE C
7	17/03/2021	19:28:14	20,1	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,3	DEGREE C
8	17/03/2021	19:38:14	20,1	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,1	DEGREE C
9	17/03/2021	19:48:14	20,1	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,3	DEGREE C
10	17/03/2021	19:58:14	20,1	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,3	DEGREE C
11	17/03/2021	20:08:14	20,1	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,3	DEGREE C
12	17/03/2021	20:18:14	20,2	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,3	DEGREE C
13	17/03/2021	20:28:14	20,2	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,3	DEGREE C
14	17/03/2021	20:38:14	20,3	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,5	DEGREE C
15	17/03/2021	20:48:14	20,5	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,6	DEGREE C
16	17/03/2021	20:58:14	20,3	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,2	DEGREE C
17	17/03/2021	21:08:14	20,2	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20	DEGREE C
18	17/03/2021	21:18:14	20	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,1	DEGREE C
19	17/03/2021	21:28:14	20,4	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,3	DEGREE C
20	17/03/2021	21:38:14	20,9	DEGREE C	99999999	DEGREE C	20,5	DEGREE C

Figura 4.11 Datos sensor de temperatura superficial (Fuente: Eduard Muñoz)

En este caso el sensor nos muestra en la primera columna *Position* el número de registro, podemos observar que a diferencia de los termohigrómetros, este sensor nos separa en dos columnas distintas el día en que se realizó la medición y el tiempo en que se realizó. Por último las últimas columnas corresponden a cada uno de los 3 puertos de termopares que registraran la temperatura superficial de donde estén ubicados, por ejemplo el Ch1 ubicado en la cara interior de la pared, el Ch2 ubicado en la cara exterior de la pared y el Ch3 ubicado en el techo. El sensor también nos registra en una columna la unidad de medida de cada canal que en este caso son °C. El hecho que por ejemplo en el Ch2 nos indique como valor 999999 significa que el Ch2 no estaba midiendo en ese momento al no tener conectado ninguno termopar.

- **Sensor de calidad de aire**

En el caso de la serie de datos registrada por el sensor de calidad de aire, mediante su software podemos exportar los datos en formato .xlsx o formato.csv

Product Name:Indoor Air Quality Data Logger								
Description:Indoor Data Logger								
Start Date&Time:06:33:52PM,03/17/2021								
End Date&Time:12:03:52PM,03/24/2021								
Interval:600 seconds								
Record Count:970								
CO2 Alarm High:1000 PPM								
CO2 Alarm Low:250 PPM								
Temp Alarm High:70 °C								
Temp Alarm Low:20 °C								
Humi Alarm High:90 %								
Humi Alarm Low:20 %								
no	time	date	temp	talarm	humi	halarm	co2	calarm
1	06:33:52PM	03/17/2021	22.0		46.6		1150	High
2	06:43:52PM	03/17/2021	18.8	Low	46.2		536	
3	06:53:52PM	03/17/2021	19.0	Low	44.6		462	
4	07:03:52PM	03/17/2021	20.3		44.2		504	
5	07:13:52PM	03/17/2021	20.7		44.2		543	
6	07:23:52PM	03/17/2021	21.0		44.4		648	
7	07:33:52PM	03/17/2021	21.1		44.4		608	
8	07:43:52PM	03/17/2021	20.9		43.8		649	
9	07:53:52PM	03/17/2021	21.0		44.0		620	
10	08:03:52PM	03/17/2021	21.0		44.6		657	
11	08:13:52PM	03/17/2021	21.0		45.1		683	
12	08:23:52PM	03/17/2021	21.0		45.2		719	
13	08:33:52PM	03/17/2021	21.1		44.8		750	
14	08:43:52PM	03/17/2021	21.0		44.4		792	

Figura 4.12 Datos sensor de temperatura calidad de aire (Fuente: Eduard Muñoz)

Si observamos el archivo de registro del sensor, lo primero que observamos es la información referente a la configuración del sensor. Por ejemplo en esta información nos muestra el periodo de tiempo en el que se registró la medición, el intervalo entre cada medición y los valores máximos y mínimos de temperatura, humedad y concentración de CO<sub>2</sub> a partir de los cuales el sensor considerará que se está superando el límite.

La primera columna de la matriz de datos, de igual forma que para el resto de sensores nos muestra el número de medición. Siguiendo la misma tipología que el sensor de temperatura superficial, el día en que se realizó la medición y la fecha las muestra en dos columnas distintas ,haciendo hincapié en que no lo muestra en el mismo formato que el sensor de temperatura superficial ya que el orden es distinto y la hora la distingue entre PM y AM.

Posteriormente observamos los valores de temperatura, humedad y concentración de CO<sub>2</sub> donde a su derecha se muestra si se está superando respecto los valores límites que se han establecido.

- **Sonómetro**

Los datos registrados mediante el sonómetro se pueden exportar mediante su software en archivos .xlsx o bien .csv

StartTime	18-02-2021,18:16:53		
Max	77.80 @ 18-02-2021,18:20:39 dBA		
Min	37.20 @ 19-02-2021,2:16:44 dBA		
Average	42.68		
SampleRate	1.00		
ID	Unit	Value	DateTime
1	dBA	51.30	18-02-2021,18:16:53
2	dBA	47.40	18-02-2021,18:16:54
3	dBA	46.00	18-02-2021,18:16:55
4	dBA	51.10	18-02-2021,18:16:56
5	dBA	60.50	18-02-2021,18:16:57
6	dBA	55.90	18-02-2021,18:16:58
7	dBA	55.60	18-02-2021,18:16:59
8	dBA	50.30	18-02-2021,18:17:00
9	dBA	46.80	18-02-2021,18:17:01
10	dBA	50.40	18-02-2021,18:17:02
11	dBA	47.20	18-02-2021,18:17:03
12	dBA	48.40	18-02-2021,18:17:04
13	dBA	47.80	18-02-2021,18:17:05
14	dBA	57.70	18-02-2021,18:17:06
15	dBA	53.70	18-02-2021,18:17:07
16	dBA	53.60	18-02-2021,18:17:08
17	dBA	49.40	18-02-2021,18:17:09

Figura 4.13 Datos sonómetro (Fuente: Eduard Muñoz)

Siguiendo la configuración del resto de sensores, lo primero que observamos es la información referente a la configuración del sensor donde se nos especifica el período de tiempo en el que se obtuvo la muestra, los valores máximos y mínimos y la fecha en que se registraron y la frecuencia entre cada medición.

Observamos que la primera columna corresponde al número de medición, posteriormente nos muestra la unidad de medida que en este caso son dBA y por último nos muestra el valor registrado y la fecha y hora en que se registró unificado en una sola columna.

- **Sensor de flujo de calor**

En el caso de la serie de datos registrada por el sensor de flujo de calor, mediante su software, podemos exportarlo en formato únicamente .csv.

date	Heat Flux
	W/m <sup>2</sup>
19/02/2021 21:58	-755.775.680.541.992
19/02/2021 22:08	-755.773.315.429.688
19/02/2021 22:18	-755.780.563.354.492
19/02/2021 22:28	-755.783.309.936.523
19/02/2021 22:38	-755.783.004.760.742
19/02/2021 22:48	-755.784.072.875.977
19/02/2021 22:58	-755.785.751.342.773
19/02/2021 23:08	-755.793.304.443.359
19/02/2021 23:18	-755.785.446.166.992
19/02/2021 23:28	-755.790.634.155.273
19/02/2021 23:38	-755.789.260.864.258
19/02/2021 23:48	-755.788.421.630.859
19/02/2021 23:58	-755.786.819.458.008
20/02/2021 0:08	-755.794.677.734.375
20/02/2021 0:18	-755.797.882.080.078
20/02/2021 0:28	-755.792.236.328.125
20/02/2021 0:38	-755.796.279.907.227
20/02/2021 0:48	-755.797.653.198.242
20/02/2021 0:58	-755.797.882.080.078
20/02/2021 1:08	-755.798.721.313.477
20/02/2021 1:18	-755.801.391.601.563
20/02/2021 1:28	-755.800.094.604.492
20/02/2021 1:38	-755.801.391.601.563
20/02/2021 1:48	-755.803.070.068.359

Figura 4.14 Datos sensor de flujo de calor (Fuente: Eduard Muñoz)

Como podemos observar, al abrir el archivo .csv vemos que los datos referentes al flujo de calor en unidades de (W/m<sup>2</sup>) presentan unos valores que no tienen un sentido físico y se presentan con un signo negativo. El signo negativo nos está indicando que el flujo de calor se mueve en dirección contraria a como está colocada la membrana que registra el flujo. El hecho de estos valores es debido a un problema de lectura por parte del Excel a la hora de identificar los espacios mediante tabulación, coma, punto y coma o punto. En el caso de la fecha y la hora de medición nos la muestra en una única columna.

Observando la configuración se la serie de datos se hace imprescindible un proceso de arreglo y limpieza para que los datos queden ordenados correctamente.

- **Consumo eléctrico**

En el caso de los datos referentes al consumo eléctrico su presentación difiere mucho en función de la distribuidora eléctrica desde la que se descarga.

Normalmente estos datos se descargan en formato .csv y siempre tienen como mínimo tres columnas, la columna del día de medición, la columna de la hora que normalmente se hace el registro cada hora y por último la columna de consumo en kWh. En algunas series de datos

también podemos encontrar el precio del kWh en esa hora pero para este estudio se descartará ya que no es relevante.

- **Red XEMA**

En el caso de la red XEMA al entrar en la página de la estación automática número cuatro ubicada en el barrio del Raval, al filtrar por la fecha en la que se registró el piso que estamos estudiando nos aparece una tabla donde se unifican todas las variables medidas en ese periodo de tiempo.

▼ Període TU	TM °C	TX °C	TN °C	HRM %	PPT mm	VVM (10 m) km/h	DVM (10 m) graus	VVX (10 m) km/h	PM hPa	RS W/m <sup>2</sup>
00:00 - 00:30	10.7	10.8	10.5	95	0.0	3.6	279	8.3	1020.5	0
00:30 - 01:00	10.5	10.6	10.5	95	0.0	4.3	248	9.7	1020.2	0
01:00 - 01:30	10.5	10.5	10.5	96	0.0	4.7	245	12.6	1020.1	0
01:30 - 02:00	10.4	10.5	10.3	96	0.0	4.7	251	11.5	1019.9	0
02:00 - 02:30	10.2	10.3	10.2	96	0.0	7.2	256	17.3	1019.8	0
02:30 - 03:00	9.9	10.2	9.7	97	0.0	6.8	267	15.1	1019.5	0
03:00 - 03:30	9.7	9.8	9.7	98	0.0	6.8	272	12.2	1019.5	0
03:30 - 04:00	9.8	9.8	9.7	96	0.0	6.8	279	15.1	1019.3	0
04:00 - 04:30	9.7	9.7	9.6	96	0.0	8.6	286	17.6	1019.3	0
04:30 - 05:00	9.8	9.9	9.7	96	0.0	9.7	281	19.4	1019.2	0
05:00 - 05:30	10.0	10.2	9.9	94	0.0	7.6	277	16.6	1019.2	0

Figura 4.13 Datos Red XEMA (Fuente: Meteo.cat)

En esta tabla lo primero que se observa es que los registros se toman cada media hora. En la mayoría de variables se muestra el valor medio de todas las mediciones efectuadas en esa media hora. En el caso de la temperatura a parte de registrarse la temperatura media en esa media hora, también se registra la temperatura máxima y mínima de esa media hora. El problema de la Red XEMA es que esta tabla de datos no se puede descargar con lo que se ha tenido que crear un archivo Excel e ir copiando y pegando la serie de datos que nos interesan para poder trabajar con ellos.

## 5. Pisos estudiados

A continuación se muestra un mapa de los pisos que se han medido en la temporada invernal los cuales se añadirán a la base de pisos medidos que ya había en la base de datos de Oasiurbà



**Figura 5.1** Distribución de los pisos (Fuente: Google Earth)

Tal y como se puede observar, tres de los cuatro pisos medidos se encuentran situados en el barrio del Raval mientras que el piso de la calle de Parellada se encuentra en el barrio de Sant Andreu. Se ha decidido establecer este piso como base comparativa respecto al cual se compararán el resto de pisos ya que este piso a pesar de no encontrarse en el barrio del Raval, se trata de un piso de eficiencia térmica A. Esto nos indica que es el piso con el mejor acondicionamiento térmico que podemos encontrar.

A continuación podemos observar las tablas donde se ha indicado que sensores se han colocado en cada piso y la ubicación de estos dentro del piso registrado:

	Termohigrometro A1	Termoigrometro A2	Sensor de temperatura superficial	Sonómetro	Sensor de flujo de calor	Sensor de CO2
Peu de la creu 32	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Junta del comerç 14	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Sant pau, 122	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Parellada 9	SI	SI	SI	NO	NO	SI

Figura 5.2 Registro de sensores (Fuente: Eduard Muñoz)

	Termohigrometro A1	Termohigrómetro A2	Sensor de temperatura superficial	Sonómetro	Sensor de flujo de calor	Sensor de CO2
Peu de la creu 32	Dormitorio principal	Dormitorio secundario	Pared de terraza	Dirección a la calle	Pared de terraza	Comedor
Junta del comerç 14	Dormitorio principal	Dormitorio secundario	Pared de terraza	Dirección al patio de la manzana	Pared de terraza	Comedor
Sant pau, 122	Dormitorio principal	Dormitorio secundario	Pared de terraza	Dirección a la calle	-	Cocina
Parellada 9	Estudio	Dormitorio principal	Pared de patio	-	-	Cocina - Comedor

Figura 5.3 Ubicación de los sensores (Fuente: Eduard Muñoz)

## 6. Metodología de análisis de datos

### 6.1. Marco teórico

Para poder realizar un método de tratamiento de datos desde un ámbito estadístico es importante tener en cuenta una serie de variables estadísticas las cuales nos ayudarán a entender el comportamiento de las variables medidas mediante los sensores.

#### 6.1.1. Estadística descriptiva

Entendemos por estadística descriptiva a la disciplina dentro de la estadística que se encarga de organizar y resumir información cuantitativa a partir de la cual se pueden describir las características principales de un conjunto de datos.

Normalmente este conjunto de datos está formado por diferentes variables por ejemplo velocidad, temperatura, presión, etc. Es por este motivo que resulta más recomendable considerar las variables de una en una, sin tener en cuenta la posible correlación que existe entre ellas.

Según la naturaleza se puede encontrar **variables cualitativas o categóricas**, estas variables no necesitan números para expresarse, por ejemplo: sexo, color, etc. Por otro lado también podemos encontrar **variables cuantitativas o numéricas** las cuales si necesitan números para expresarse, por ejemplo: edad, longitud, etc.

Encada una de las variables hemos de considerar una serie de observaciones, las anotaciones sobre qué modalidad (cualitativas) o qué valor (cuantitativas) tiene cada observación se denominan datos. Estos datos los podemos organizar:

- **Tablas:** Conjunto de matrices donde se pueden almacenar los datos que toma una variable para cada objeto.
- **Gráficos:** Conjunto de representaciones visuales construidas a partir de las tablas los cuales nos permiten tener una visión más general y completa de los datos.
- **Medidas de tendencia central:** Conjunto de valores que proporcionan información sobre el centro de la distribución de datos.
- **Medidas de variabilidad:** Conjunto de valores que proporcionan información sobre la homogeneidad de los valores entre sí.

## Tabla de frecuencia

Para presentar los datos categóricos, el mejor formato es mediante una tabla de frecuencias. Esta tabla nos indica el número de repeticiones de cada una de las clases de la variable a estudiar.

Se pueden distinguir los siguientes tipos de frecuencias:

- **Frecuencia absoluta:** Es el número de repeticiones que presenta una variable.
- **Frecuencia relativa:** Se obtiene a partir de la frecuencia absoluta, dividida por el número total de datos.
- **Frecuencia relativa acumulada:** Se obtiene dividiendo cada frecuencia absoluta acumulada por el número total de datos

Ejemplo 1:

Se dispone de la siguiente serie de datos:

**1, 5, 3, 1, 2, 3, 4, 5, 1, 4, 2, 4, 4, 5, 1, 4, 2, 4, 2, 2**

La tabla de frecuencias de la serie de datos sería:

Reactor	Frec. absoluta	Frec. relativa	Frec. abs. acumulada	Frec. rel. acumulada
1	4	0.20	4	0.20
2	5	0.25	9	0.45
3	2	0.10	11	0.55
4	6	0.30	17	0.85
5	3	0.15	20	1.00

Figura 6.1 Tabla de frecuencias (Fuente: Informes de laboratorio de Estadística)

En el caso de que la muestra de datos fuese muy extensa, es recomendable agrupar los datos en intervalos o clases para así realizar un mejor análisis e interpretación de ellos.

## Gráficas estadísticas

El conjunto de frecuencias se pueden plasmar en forma de tablas como lo visto anteriormente o bien en formato gráfico. En el caso de utilizar el formato gráfico, este formato nos facilita la comprensión de los resultados, sin añadir ninguna información extra respecto a la registrada en una tabla de frecuencias. Existen diversos tipos de gráficas, cada una de ellas adecuada a cada tipo de variables.

- **Diagrama de tallos y hojas**

El diagrama de tallos y hojas es un tipo de gráfico que nos permite visualizar la forma de la distribución.

En la tabla gráfica cada dato es dividido, según su valor, en un tallo y una hoja. El último dígito de cada dato dato representa la hoja mientras que los demás dígitos representan el tallo.

Este tipo de gráficos nos muestran información sobre la dispersión, la localización y los valores extremos de nuestros datos.

- **Gráfico de puntos**

Cuando nuestro estudio está formado por una tabla de frecuencias reducida de variables categóricas y sus valores no presentan una dispersión muy grande entre sí, se puede optar por presentar los datos mediante un gráfico de puntos.

En el eje horizontal de este gráfico se representan los posibles valores de cada dato mientras que en el eje vertical se representa la localización de cada dato dentro de la lista global. Cada dato se representa mediante un punto y se ubica en función de su valor y la altura proporcional al orden del conjunto.

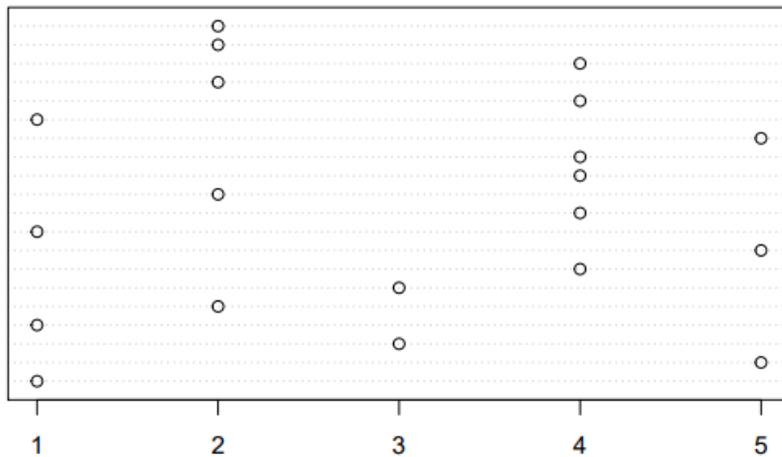


Figura 6.2 Ejemplo de gráfico de puntos (Fuente: Informes de laboratorio de Estadística)

- **Gráfico de barras**

En este gráfico se puede representar visualmente la frecuencia de las variables categóricas mediante un conjunto de barras rectangulares con igual anchura.

Cada clase de variable está asociada a una barra cuya altura representa la frecuencia absoluta o relativa de cada variable.

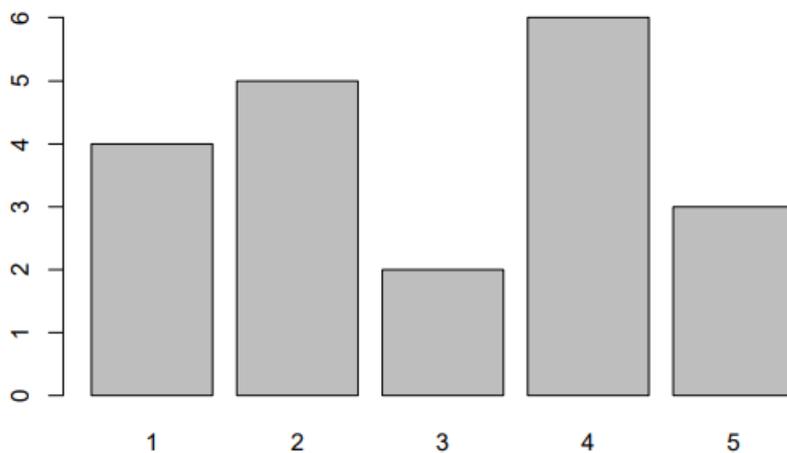


Figura 6.3 Ejemplo de gráfico de barras (Fuente: Informes de laboratorio de Estadística)

- **Histograma**

Cuando disponemos variables cuantitativas con un gran número de valores distintos, la mejor representación es mediante un histograma.

Los datos de la muestra se agrupan en intervalos y se representan mediante rectángulos yuxtapuestos cuyas bases se ubican sobre el eje horizontal. La altura del rectángulo es proporcional a la frecuencia de cada intervalo. Para diferenciarlo con el gráfico de barras, es la inexistencia de espacios entre rectángulos.

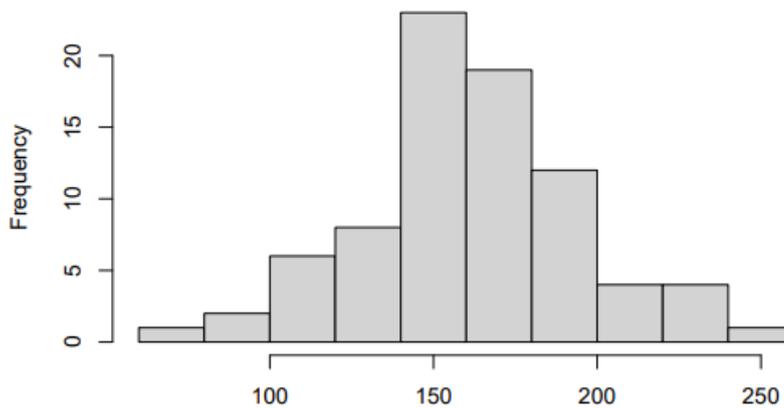


Figura 6.4 Ejemplo de histograma (Fuente: Informes de laboratorio de Estadística)

- **Gráfico de sectores**

El gráfico de sectores se representa mediante un círculo dividido en porciones. Estas porciones son proporcionales a la frecuencia relativa de cada categoría.

Estos gráficos nos permiten observar de una forma clara la relación de frecuencias de cada categoría.

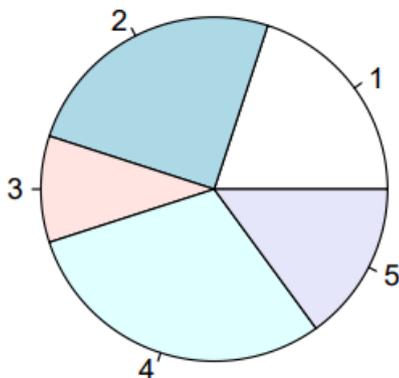


Figura 6.5 Ejemplo de gráfico de sectores (Fuente: Informes de laboratorio de Estadística)

## Medidas de posición y tendencia central

En muchos casos nos encontramos en situaciones donde es más intuitivo resumir la información de un conjunto de datos numéricos en un solo valor para obtener indicadores del comportamiento de la variable y poder realizar comparaciones. Las medidas conocidas como medidas de posición o localización nos ayudan a describir un valor a partir del cual podemos realizar las observaciones.

- **Media**

La media valor medio, lo definimos como la suma de todos los valores de la muestra dividido por el número total del conjunto de datos.

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_N}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (\text{Eq.6.1})$$

En el caso de disponer de un conjunto de datos los cuales están agrupados y se conoce el valor medio de cada intervalo y el número de datos de cada uno de ellos, la media puede ser obtenida mediante:

$$\bar{X} = \frac{x_1n_1 + x_2n_2 + x_3n_3 + x_4n_4 + \dots + x_Nn_N}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i n_i \quad (\text{Eq.6.2})$$

- **Mediana**

Conocemos por mediana al dato que ocupa la posición central de la muestra ordenada de menor a mayor. Este dato es un punto el cual divide la muestra en dos grupos iguales dejando el 50% de los valores por debajo y el otro 50% por encima.

Para poder calcularla primero se han de ordenar todos los datos de menor a mayor siendo el dato central el que ocupa la posición:

$$\frac{N+1}{2} \quad (\text{Eq.6.3})$$

Donde N es el número total de datos. En el caso de que N fuese impar, la mediana sería el mismo dato central.

Si por el contrario N es par, existen dos datos centrales por lo que la mediana sería el promedio de ambos.

- **Moda**

La moda no es más que el valor con mayor frecuencia absoluta de los datos de la muestra. La moda nos indica cuál es el valor más frecuente, pero no nos dice cuántas veces se repite. En el caso que hubiese dos valores que se repiten con la misma frecuencia, se dice que estos datos son multimodales.

- **Cuantiles**

Conocemos por cuantiles a los valores de la matriz de datos que la dividen en partes iguales o intervalos los cuales comprenden el mismo número de valores.

Los más utilizados suelen ser los percentiles, los deciles y los cuartiles.

Los percentiles son 99 valores que dividen en cien partes iguales el conjunto de datos ordenados. Por ejemplo, el percentil de orden 15 deja por debajo al 15 % de las observaciones y por encima quedan el 85 %.

Los deciles son los nueve valores que dividen el conjunto de datos ordenados en diez partes iguales. Estos son un caso particular de percentiles

Los cuartiles son los tres valores que dividen el conjunto de datos ordenados en cuatro partes iguales. También se tratan de un caso particular de percentiles.

### **Medidas de variabilidad y dispersión**

Las medidas de posición nombradas anteriormente nos indican donde se encuentra el centro de la distribución pero por el contrario no nos indica la dispersión del conjunto de datos.

En el caso de las medidas de variabilidad sí que describen lo cerca que se encuentran los datos entre ellos o respecto alguna medida de tendencia central.

- **Rango**

Conocemos por rango al intervalo entre el valor máximo y mínimo de una matriz de datos. Este rango es altamente sensible a los valores extremos, es decir, es un parámetro estadístico débil ya que puede ser alterado si uno de los extremos se trata de **outliers**.

- **Varianza y desviación típica**

La varianza registra cuanto difieren los datos de la matriz global. Específicamente, expresan “**el promedio de la distancia de cada punto respecto de la media**”. La varianza se calcula según:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2$$

(Eq.6.4)

Donde  $x_i$  es el valor de cada observación,  $X$  es la media y  $N$  es el número total de datos.

Es importante remarcar que las unidades de la varianza están expresadas al cuadrado; por tanto, si se tienen datos de longitud (en mm), la varianza se expresa con unidades de superficie (en mm<sup>2</sup>), fenómeno que no tiene mucho sentido.

Es por ello que se dispone de la desviación estándar o típica, que resulta ser la raíz cuadrada de la varianza; de esta forma, las unidades de la medida de dispersión son las mismas que la de los datos.

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2}$$

(Eq.6.5)

### Gráfico de caja

Se entiende por gráfico de caja aquella representación visual por medio de la cual podemos describir varias características importantes de la serie de datos al mismo tiempo, como por ejemplo la tendencia central, la dispersión y la simetría.

Para configurar un gráfico de caja se deben representar los tres cuartiles y los valores mínimos y máximos de los datos sobre un rectángulo el cual se encuentra alineado con el eje horizontal o vertical.

Los valores que muestren una dispersión de hasta 1,3 veces el rango intercuartilico se representan con unas líneas rectas o también conocidas como bigotes.

Los valores que se encuentran fuera de ese intervalo se representan mediante puntos y se consideran valores extremos atípicos.

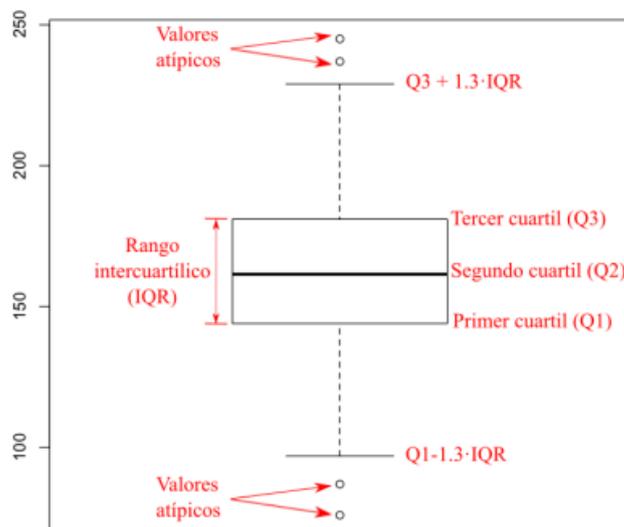


Figura 6.6 Ejemplo de gráfico de caja (Fuente: Informes de laboratorio de Estadística)

### 6.1.2. P-valor

Conocemos por P-valor o valor p a la probabilidad de que un valor estadístico calculado cumpla una hipótesis dada o no.

En términos simples, el valor p ayuda a diferenciar resultados que son producto del azar del muestreo, de resultados que son estadísticamente significativos.

Si lo aplicamos a este proyecto, el p-valor nos indicará como de correlacionadas o dependientes son unas variables respecto otras. En nuestro caso y con la hipótesis que se planteará en el software, un P-valor= 0 nos indicará que las variables comparadas están fuertemente relacionadas entre sí, es decir su patrón de comportamiento esta correlacionado.

Por el contrario si nos saliesen P-valor próximos a 1 esto nos estaría diciendo que las variables comparadas están muy poco correlacionadas y se podría considerar que tienen un comportamiento independiente entre ellas.

### 6.1.3. Regresión lineal

La regresión lineal es aquella herramienta estadística que nos permite estimar la relación que existe entre una variable dependiente (normalmente  $y$ ) respecto una variable independiente (normalmente  $x$ ). El objetivo principal de la regresión lineal es utilizar la información obtenida de un conjunto de variables para predecir sus comportamientos en el futuro.

Esta información organizada normalmente por pareja de valores se suele representar gráficamente mediante una nube de puntos o diagrama de dispersión.

#### Modelo de regresión lineal simple

La regresión lineal simple tal y como indica su nombre consiste en encontrar la línea recta definida por  $y = mx + b$  la cual se ajuste mejor a la nube de puntos de la muestra.

Esta línea que se ajusta mejor a la nube de puntos se conoce como **línea de regresión o recta de regresión**.

En el caso de los puntos los cuales están próximos a la línea de regresión nos indica que su error de predicción es pequeño, por el contrario los puntos que se encuentren muy alejados de la línea de regresión se considerará que su error de predicción es mayor.

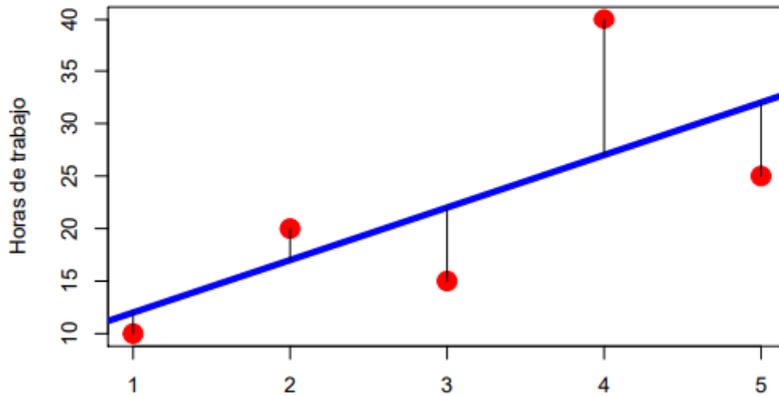


Figura 6.6 Ejemplo de modelo de regresión lineal simple (Fuente: Informes de laboratorio de Estadística)

Consideramos que la línea recta que se ajusta mejor a los datos es aquella en la cual los  $n$  errores de predicción que corresponden a un por cada punto de los datos, son tan pequeños como sea posible. Un medio para lograr este objetivo es mediante el **criterio de mínimos cuadrados**, este criterio consiste en minimizar la suma de los errores de predicción al cuadrado. De otra forma, se ha de buscar los valores del pendiente ( $m$ ) e intercepción ( $b$ ) para los cuales la suma del cuadrado de los errores de predicción  $Q = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$  sea la más pequeña posible.

Si minimizamos la ecuación:

$$Q = \sum_{i=1}^n (y_i - (mx_i + b))^2 \tag{Eq.6.6}$$

Si derivamos e igualamos acero obtenemos que:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{y} \quad b = \bar{y} - m\bar{x} \tag{Eq.6.7}$$

### Modelo de regresión exponencial

Hay casos donde la línea que se aproxima mejor a los valores obtenidos no se ajusta mediante una recta sino que lo hace mediante una función exponencial.

Esta línea se aproxima mediante la función  $y = \alpha e^{\beta x}$ .

Por tanto se ha de encontrar los valores de alpha y betha que se ajusten mejor a la nube de puntos.

En la regresión exponencial también podemos hallar el valor del coeficiente de determinación  $R^2$ , que de igual forma que para la regresión lineal, cuanto más cerca este este valor de 1, nos indicará que es más precisa la aproximación.

A pesar de la complejidad que denota en un primer momento, esta aproximación no resulta más complicada que la aproximación por regresión lineal.

Gracias a las propiedades de los logaritmos neperianos, una relación exponencial se puede transformar en una relación lineal de una forma sencilla mediante la expresión:

$$\ln(y) = \ln(\alpha e^{\beta x}) = \ln(\alpha) + \ln(e^{\beta x}) = \ln(\alpha) + \beta \ln(e^x) = \ln(\alpha) + \beta x$$

**(Eq.6.8)**

### **Evaluar la exactitud del modelo de regresión**

Es importante poder evaluar en qué medida se ajusta nuestro modelo a los datos para ello existen varias formas, la calidad de la regresión normalmente viene determinada por el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) o el coeficiente de Pearson (R). Estos valores característicos de cada regresión nos indican como de exacto es el ajuste de la línea respecto la nube de datos.

Por ejemplo si tuviésemos un  $R^2$  asociada a nuestra línea de aproximación, nos estaría indicando que el 85 % de la variación total en y se puede explicar por la relación lineal entre x e y. Cuanto más se acerque el valor de  $R^2$  a 1, mejor se ajustará la línea a los datos.

Definimos el coeficiente de determinación como la relación entre la variabilidad explicada por la regresión y la variabilidad total.

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2},$$

**(Eq.6.9)**

Dónde  $\hat{y}_i$  es la estimación del valor  $y_i$ .

### **Diagrama de dispersión**

El diagrama de dispersión es una herramienta grafica mediante la cual podemos ver claramente si existe alguna relación entre las variables que estamos estudiando.

También nos permite observar de forma visual la dispersión de la nube de datos de nuestra muestra lo cual nos indica si la muestra está formada por datos muy dispersos entre ellos o por el contrario por datos bastante compactos.

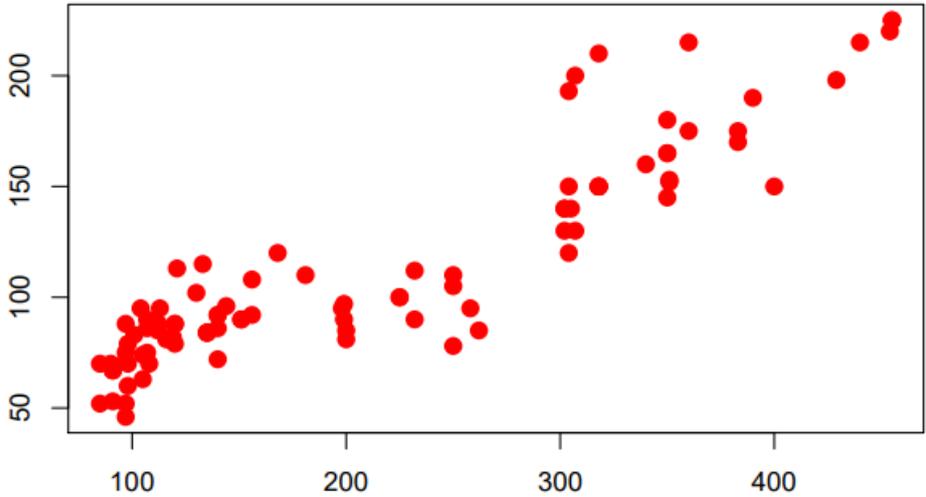


Figura 6.7 Ejemplo de diagrama de dispersión (Fuente: Informes de laboratorio de Estadística)

En el caso que nuestra matriz de datos este formada por un conjunto de variables, podemos realizar un diagrama general de dispersión donde se muestren todas las combinaciones de las variables de una estructura de datos en un solo gráfico.

Esto nos permitirá tener una visión global de todas las variables de nuestra matriz observando que variables presentan más dispersión.

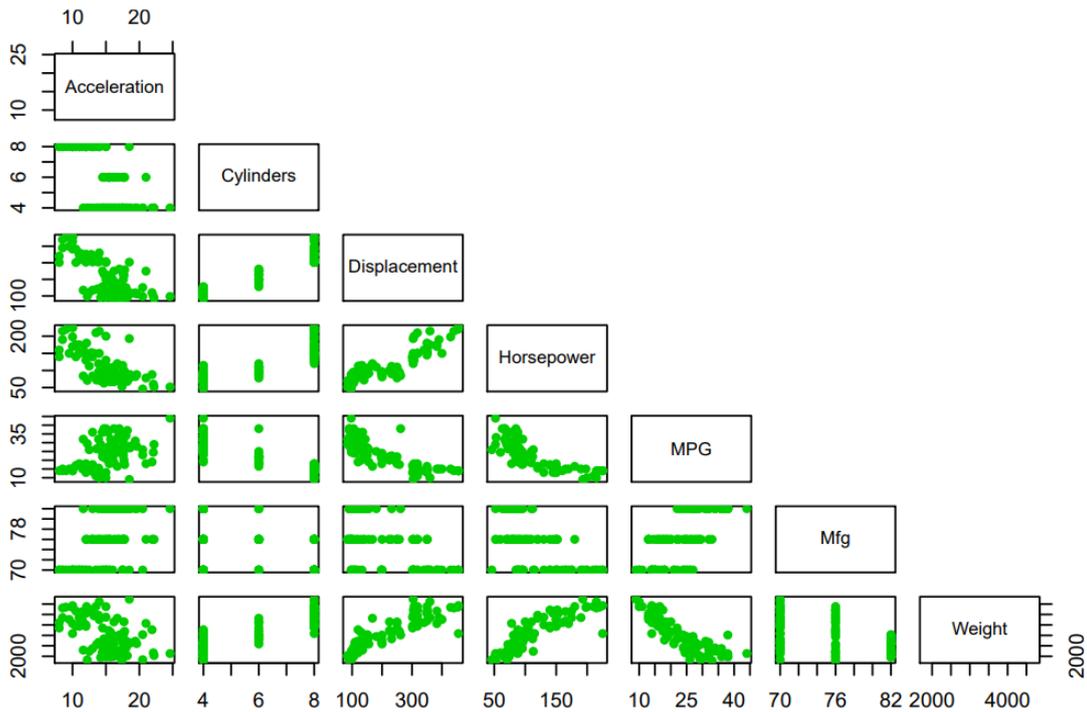


Figura 6.8 Ejemplo de diagrama de dispersión para un conjunto de variables (Fuente: Informes de laboratorio de Estadística)

## Modelo lineal de los mínimos cuadrados

Mediante el modelo lineal de mínimos cuadrados podemos aproximar una serie de valores con un polinomio del mínimo grado posible. Si los valores se asemejan por ejemplo a una recta, la función de la línea de regresión será de la forma  $y = mx + b$ , siendo de primer grado.

Este modelo puede ser utilizado posteriormente para la estimación de algún valor, la representación de los puntos y su recta, etc.

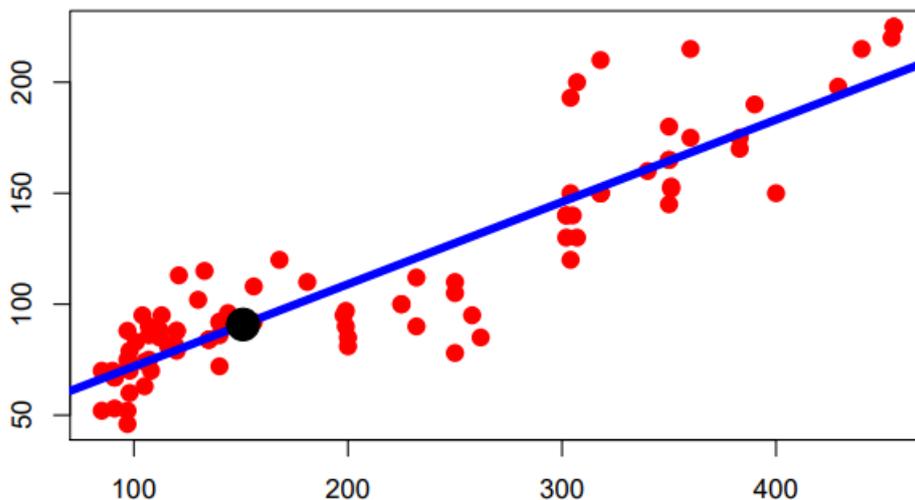
## Estimación de valores indeterminados

Una de las aplicaciones principales de la regresión es la posibilidad de estimar el valor de una variable dependiente a partir de un valor determinado de la variable independiente.

Esta posibilidad de estimación resulta muy útil ya que permite conocer aproximadamente el comportamiento de las dos variables en situaciones en las que no disponemos de datos.

Para realizar la estimación basta con reemplazar en la fórmula de la recta los valores de la pendiente, la intercepción y la variable dependiente.

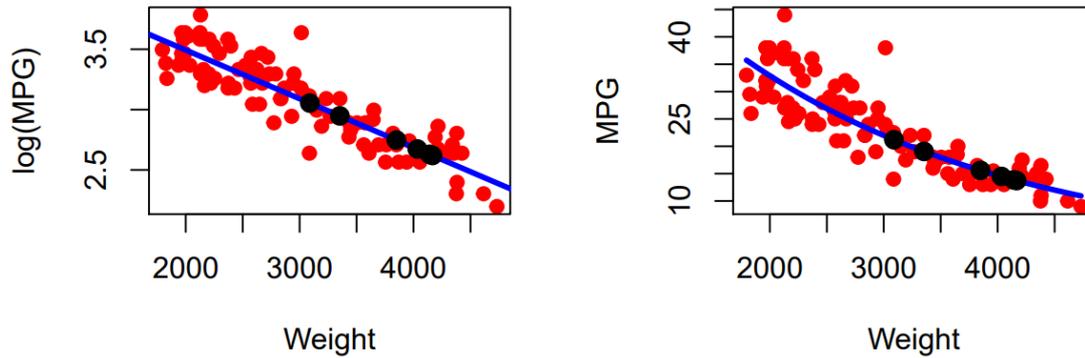
Esta estimación se puede representar en la gráfica mediante un punto negro por ejemplo:



**Figura 6.9** Representación mediante el punto negro del valor estimado (Fuente: Informes de laboratorio de Estadística)

## Regresión exponencial

Como ya se ha visto anteriormente, si dos variables presentan una relación exponencial y lo linealizamos mediante logaritmos, a partir de esta línea de regresión también podemos realizar la estimación de valores intermedios del mismo modo que se realiza en la regresión lineal.



Figuras 6.10 Representación de la regresión exponencial (Fuente: Informes de laboratorio de Estadística)

## 7. Programación en RStudio

El método estadístico realizado para el tratamiento de datos recopilados mediante los sensores se ha realizado utilizando el software estadístico Rstudio complemento del software R.

### ¿Qué es Rstudio?

A pesar de que en general se considera que R es un software, este también se puede considerar un lenguaje de programación enfocado al análisis estadístico de datos y su representación.

Es un software que puede ejecutarse en cualquier ordenador y proporciona una gran cantidad de herramientas con la capacidad de llamar a otras funciones y de desarrollar nuevas funciones muy sencillas de manejar. Tiene una gran capacidad de visualización de datos con lo que permite generar muchos tipos y de extraordinaria calidad.



Una característica muy positiva que tiene R es su capacidad de combinación con diferentes bases de datos y con otros lenguajes de programación, como

Figura 7.1 Símbolo software R (Fuente: Asignatura de Estadística)

Matlab, Maple, Mathematica, Python, Perl, SPSS, etc.

El hecho que sea un proyecto abierto y colaborativo genera la existencia de un repositorio oficial de paquetes.

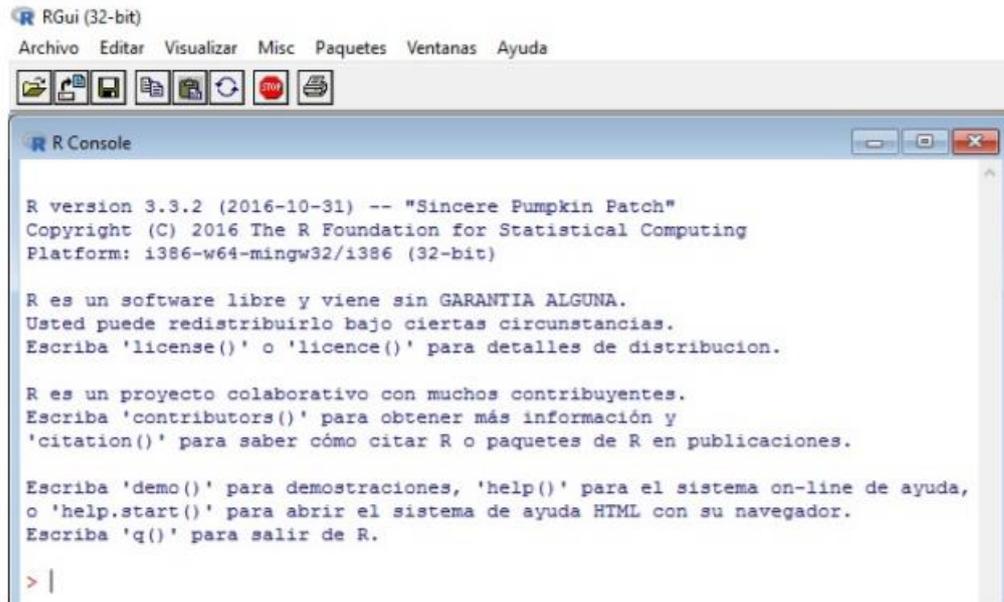


Figura 7.2 Consola software R (Fuente: Asignatura de Estadística)

R es un entorno básico que no tiene una interfaz tipo ventana. Es por ello que para obtener los resultados deseados, sus funciones se ejecutan por medio de comandos en el propio lenguaje. Sin embargo, R dispone de un paquete adicional llamado **R-Commander**, el cual proporciona una serie de menús que facilitan el uso inicial del programa, sin tener que escribir los comandos, facilitando mucho más su utilización.

**R-Commander** es una interfaz gráfica de usuario básica ( graphical user interface, **GUI**). Mediante esta interfaz y sus menús, podemos ejecutar muchas de las funciones básicas para el análisis estadístico de datos aunque no pueden ejecutarse todas. También se pueden crear gráficas sin escribir los comandos y **R-Commander** genera el código equivalente en lenguaje R para después poder ejecutarse directamente desde R-Console.



Figura 7.3 Consola software RCommander (Fuente: Asignatura de Estadística)

Si lo que buscamos es un desarrollo integrado, podemos utilizar el entorno llamado **Rstudio**, el cual, a diferencia de **R-Commander** y de la consola básica de R, este entorno se muestra como una agradable interfaz que incluye una consola, un editor más completo y funcional, una ventana de gráficos y la visualización de las variables en el espacio de trabajo, entre otras cosas.



Figura 7.4 Símbolo software Rstudio (Fuente: Asignatura de Estadística)

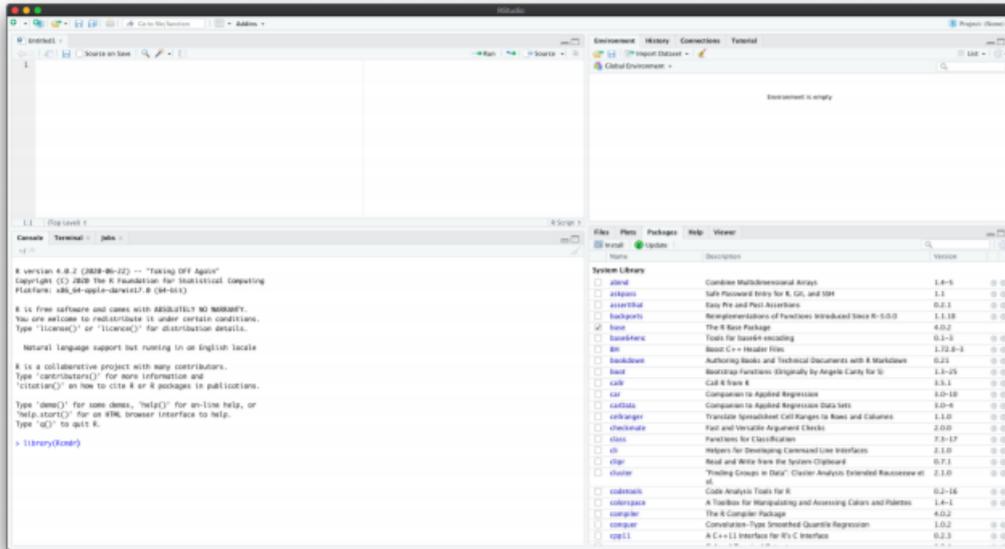


Figura 7.5 Consola software Rstudio (Fuente: Asignatura de Estadística)

## Metodología de la programación

La finalidad de este estudio estadístico es el estudio del comportamiento de las variables ya sean de forma independiente o en comparación con otras. EL objetivo principal es observar cómo se comporta la variable Consumo eléctrico respecto el resto de variables para determinar si se trata de un comportamiento arbitrario o por el contrario observamos patrones de comportamiento.

El estudio estadístico realizado hasta ahora se ha referenciado sobre los valores de las variables térmicas ya sean registradas directamente como por ejemplo la temperatura que registra un termohigrómetro o bien calculadas a posteriori como por ejemplo la sensación térmica.

Para el estudio estadístico no se han tenido en cuenta los sensores o bien porque ha habido errores en la medición o porque no se han considerado que sean relevantes para el comportamiento térmico que se desea estudiar de los pisos:

- Sonómetro
- Sensor de flujo de calor
- Sensor de CO<sub>2</sub>

El estudio se ha realizado con el conjunto de datos siguientes:

- Termohigrometro A1
- Sensor de temperatura superficial
- Red XEMA
- Consumo eléctrico

Se ha optado por la utilización del Termohigrometro A1 en detrimento de Termohigrometro A2 ya que en la mayoría de pisos instalados el Termohigrometro A1 era el que estaba ubicado en el dormitorio principal.

Se ha decidido trabajar con el Termohigrometro A1 partiendo de la premisa que en la campaña de invierno el objetivo principal era ver como se comportaban todas las variables respecto la variable Consumo. Siendo en invierno la época donde muchas veces se enciende o no la calefacción en función de si el dormitorio a la hora de dormir resulta poco acogedor o no.

En la mayoría de pisos el Termohigrometro A2 se ha ubicado en dormitorios auxiliares donde algunos de ellos no estaban en uso con lo cual no nos aportaba mucha información.

Lo primero que observamos es que los sensores realizan mediciones cada 10 minutos, el consumo está imputado un valor por cada hora y la Red XEMA registra valores cada media hora. Esto nos lleva a pensar que en una hora de medición tendríamos 6 valores registrados por los datos, un valor de consumo y dos valores correspondientes a la Red XEMA. Esta diferencia de valores hace que de un primer momento no se pueda realizar una comparativa rigurosa entre ellos. Por ello, durante la programación se realizarán predicciones de valores para equiparar todas las variables al mismo tamaño que las registradas en los sensores y así poder realizar un estudio comparativo entre ellas.

- Pasos a seguir:

Lo primero que hemos de realizar es una limpieza completa y una ordenación de los archivos Excel donde están registrados los valores que necesitamos ya que R no sería capaz de leer los archivos tal y como están estructurados.

Es imprescindible eliminar los textos sobrantes que no aportan ninguna información como por ejemplo la información de cómo está configurado el sensor.

En el caso del nombre de las variables es importante que no lleven ningún signo o símbolo y tampoco contengan acentos ya que sino R no sabrá leerlas.

El primer paso ha de ser dejar completamente configurados los archivos Excel de datos para que puedan ser leídos. Se trata de un proceso largo y costoso pero es imprescindible si queremos que R lea correctamente los archivos y no se produzcan errores.

A continuación se muestran unos ejemplos de cómo deben estructurarse los archivos Excel para ser leídos por R:

A	B	C	D
No.	Time	Temperature	Humidity
1	2021-03-17 18:16:44	20,6	59,8
2	2021-03-17 18:26:44	21,5	55,1
3	2021-03-17 18:36:44	21,5	55,1
4	2021-03-17 18:46:44	21,5	51,6
5	2021-03-17 18:56:44	21,3	50
6	2021-03-17 19:06:44	21,5	50
7	2021-03-17 19:16:44	21,6	50,6
8	2021-03-17 19:26:44	21,7	50,6
9	2021-03-17 19:36:44	21,7	50,6
10	2021-03-17 19:46:44	21,7	50,1
11	2021-03-17 19:56:44	21,7	50,1
12	2021-03-17 20:06:44	21,8	50,6
13	2021-03-17 20:16:44	21,9	51,1
14	2021-03-17 20:26:44	22	51,1
15	2021-03-17 20:36:44	22,2	51,6

Figura 7.6 Archivo Excel Termohigrómetro A1 (Fuente: Eduard Muñoz)

A	B	C	D	E
Position	Date	Time	Ch1_Value	Ch3_Value
1	17/03/2021	18:28:14	21,1	22,2
2	17/03/2021	18:38:14	20,4	20,7
3	17/03/2021	18:48:14	20,1	20,2
4	17/03/2021	18:58:14	20	20,2
5	17/03/2021	19:08:14	20,1	20,4
6	17/03/2021	19:18:14	20,1	20,3
7	17/03/2021	19:28:14	20,1	20,3
8	17/03/2021	19:38:14	20,1	20,1
9	17/03/2021	19:48:14	20,1	20,3
10	17/03/2021	19:58:14	20,1	20,3
11	17/03/2021	20:08:14	20,1	20,3
12	17/03/2021	20:18:14	20,2	20,3
13	17/03/2021	20:28:14	20,2	20,3
14	17/03/2021	20:38:14	20,3	20,5
15	17/03/2021	20:48:14	20,5	20,6
16	17/03/2021	20:58:14	20,3	20,2
17	17/03/2021	21:08:14	20,2	20

Figura 7.7 Archivo Excel Sensor de temperatura superficial (Fuente: Eduard Muñoz)

A	B	C	D
Dia	Periodo	TempMedia	HumRel
17/03/2021	18:00 - 18:30	13.5	64
17/03/2021	18:30 - 19:00	13.3	65
17/03/2021	19:00 - 19:30	13.3	65
17/03/2021	19:30 - 20:00	13.3	65
17/03/2021	20:00 - 20:30	13.3	65
17/03/2021	20:30 - 21:00	13.3	64
17/03/2021	21:00 - 21:30	13.3	64
17/03/2021	21:30 - 22:00	13.3	63
17/03/2021	22:00 - 22:30	13.3	63
17/03/2021	22:30 - 23:00	13.2	63
17/03/2021	23:00 - 23:30	13.2	61

Figura 7.8 Archivo Excel Red XEMA (Fuente: Eduard Muñoz)

A	B	C
Fecha	Hora	Consumo
2021-03-17	18	278
2021-03-17	19	146
2021-03-17	20	224
2021-03-17	21	226
2021-03-17	22	1275
2021-03-17	23	215
2021-03-17	24	88
2021-03-18	1	153
2021-03-18	2	92
2021-03-18	3	88
2021-03-18	4	75
2021-03-18	5	79
2021-03-18	6	85
2021-03-18	7	62
2021-03-18	8	1458
2021-03-18	9	1013
2021-03-18	10	159
2021-03-18	11	186
2021-03-18	12	109
2021-03-18	13	126
2021-03-18	14	120

Figura 7.9 Archivo Excel Consumo eléctrico (Fuente: Eduard Muñoz)

Una vez tenemos el conjunto de datos correctamente configurado nos disponemos a abrir RStudio para iniciar el estudio estadístico.

Una vez abierto RStudio borramos el historial de datos por si hubiese algún remanente y no contaminar nuestra muestra mediante la función ***rm(list=ls())***

A continuación nos dispondremos a cargar cada conjunto de datos dándole el nombre que queremos en este caso se ha optado por:

- “TermoHigroA1” – Termohigrometro A1
- “CONSUMO” – Consumo eléctrico
- “RED\_XEMA” – Red XEMA
- “TempSuper” – Sensor de temperatura superficial

```

6 rm(list=ls())
7 library(readxl)
8 TermohigroA1 <- read_excel("D:/MUESTREO/Carrer Parellada 9, 3º 2a/INVIERNO/C12.I.S1.xlsx")
9 #view(TermohigroA1)
10 library(readxl)
11 CONSUMO <- read_excel("D:/MUESTREO/Carrer Parellada 9, 3º 2a/INVIERNO/CONSUMO.xlsx")
12 #view(CONSUMO)
13 library(readxl)
14 RED_XEMA <- read_excel("D:/MUESTREO/Carrer Parellada 9, 3º 2a/INVIERNO/RED XEMA.xlsx")
15 #view(RED_XEMA)
16 library(readxl)
17 TempSuper <- read_excel("D:/MUESTREO/Carrer Parellada 9, 3º 2a/INVIERNO/C12.I.S4.xlsx")
18 #view(TempSuper)
19 save(TermohigroA1, CONSUMO, RED_XEMA, TempSuper, file="DatosPiso12.Rda")
20

```

Figura 7.10 Programación (Fuente: Eduard Muñoz)

Posteriormente guardamos las cuatro variables cargadas en un archivo llamado **"DatosPiso12.Rda"** a partir del cual siempre que queramos trabajar con las variables solo habrá que llamar a ese archivo sin tener que cargar siempre una y otra vez el conjunto de datos.

A continuación nos disponemos a calcular las variables Presión de vapor y Sensación Térmica a través de las formulas vistas en el apartado **3.3.3 Sensación térmica**.

Estas variables se pueden calcular tanto en el Excel inicial directamente y posteriormente subir el archivo Excel a RStudio con esas variables ya calculadas o realizar ese cálculo mediante RStudio y posteriormente introducir las en la matriz de datos mediante el propio programa.

En nuestro caso para tener los dos ejemplos se ha realizado el cálculo de la Sensación Térmica interior a través de RStudio y posteriormente se ha introducido en la matriz, y la Sensación térmica exterior se ha realizado directamente en el Excel de la Red XEMA.

```

21 #####
22 ##### CALCULAMOS VARIABLE PRESION Y SENSACION TERMICA
23 attach(TermohigroA1)
24 names(TermohigroA1)
25 PresionR <- (Humidity/100) * 6.105 * exp((17.27*Temperature)/(237.7+Temperature))
26 SensasionTermica <- Temperature + 0.348 * PresionR - 4.25
27 TermohigroA1 <- cbind(TermohigroA1, PresionR, SensasionTermica)
28

```

Figura 7.11 Programación (Fuente: Eduard Muñoz)

Calculamos la sensación térmica interior mediante la temperatura y humedad del Termohigrometro A1, la nueva variable Presión de vapor la llamaremos **PresionR** y la nueva variable de Sensación Térmica se llamará **SensasionTermica**. Mediante la operación **cbind** introducimos estas nuevas variables dentro de la matriz TermohigroA1.

A continuación hemos de cargar todos estos paquetes de la librería para poder realizar después todos los estudios, operaciones y gráficos que necesitaremos.

```

31 library(tidyverse)
32 library(readr)
33 library(mice)
34 library(colorspace)
35 library(grid)
36 library(VIM)
37 library(reshape2)
38 library(plyr)
39 library(dplyr)
40 library(ggplot2)
41 library(GGally)
42 library(lattice)
43 library(caret)
44 library(plotly)
45 library(ggstatsplot)
46 library(splines)
47 library(lubridate)
48 library(polynom)
49 library(scales)

```

Figura 7.12 Programación (Fuente: Eduard Muñoz)

Estos paquetes solo son necesarios la primera vez que carguemos RStudio ya que si los vamos cargando una y otra vez nos ralentizará el proceso.

Una vez se ha realizado la carga de todos los paquetes nos disponemos a tratar la variable **Time** de conjunto **TermoHigroA1**.

Hemos de especificarle a R que esa variable se trata de un conjunto que nos muestra el Año-Mes-Día y la Hora-Minuto-Segundo de la medición. Este proceso lo realizaremos mediante la operación **lubridate**.

```

51 #####ORGANIZAMOS FECHA Y HORA
52 TermoHigroA1$Time<-lubridate::ymd_hms(TermoHigroA1$Time)

```

Figura 7.13 Programación (Fuente: Eduard Muñoz)

En el caso del conjunto de datos **CONSUMO** nos encontramos que la variable Hora y Fecha se encuentran en dos columnas separadas. Hemos de compilar estas dos columnas y darles el mismo formato que la variable **Time** del conjunto **TermoHigroA1** para que R las pueda comparar.

```

53 CONSUMO$Time = ymd_hms(paste(CONSUMO$Fecha, CONSUMO$Hora,rep(":00:00",length(CONSUMO$Fecha))))
54 CONSUMO<-CONSUMO %>% subset(select = -c(Fecha,Hora))

```

Figura 7.14 Programación (Fuente: Eduard Muñoz)

Lo que debemos de hacer es especificar que formato de Hora queremos y posteriormente compilarla con la columna fecha creando una nueva variable llamada **Time** que reintroduciremos en el conjunto **CONSUMO** y eliminaremos las dos columnas anteriores de Hora y Fecha.

A continuación, una vez tenemos el conjunto de datos **CONSUMO** en el formato deseado imputaremos los nuevos valores de predicción del conjunto **CONSUMO** respecto los valores de **TermoHigroA1**. De esta forma en una hora tendremos 6 valores de cada variable.

```

56 #####IMPUTAMOS CONSUMO
57 fit1 <- approx(CONSUMO$Time, CONSUMO$Consumo, xout = TermoHigroA1$Time, ties = mean)
58 df1=data.frame(Time=fit1$x, Consumo_est=fit1$y)

```

Figura 7.15 Programación (Fuente: Eduard Muñoz)

Mediante la función **approx** le estamos diciendo al programa que mediante una interpolación lineal realice la predicción de los valores correspondientes al Consumo y al tiempo del consumo y que tengan la misma longitud que la variable **Time** de **TermoHigroA1**.

El nuevo conjunto de datos de consumo donde estarán incluidos los valores predichos se llamara **Consumo\_est**.

A continuación creamos un **data.frame** donde la variable x será el tiempo y la variable y será el **Consumo\_est** para poder realizar un gráfico.

```
60 ggplot(df1, aes(Time, Consumo_est)) +
61   geom_point() + geom_line() +
62   scale_x_datetime(breaks=date_breaks("1 day"),
63                   minor_breaks=date_breaks("1 hour"))
```

Figura 7.16 Programación (Fuente: Eduard Muñoz)

Mediante la función **ggplot** realizamos la siguiente grafica donde se especifica que cada línea gruesa corresponda a 1 día y cada línea fina corresponda a 1 hora.

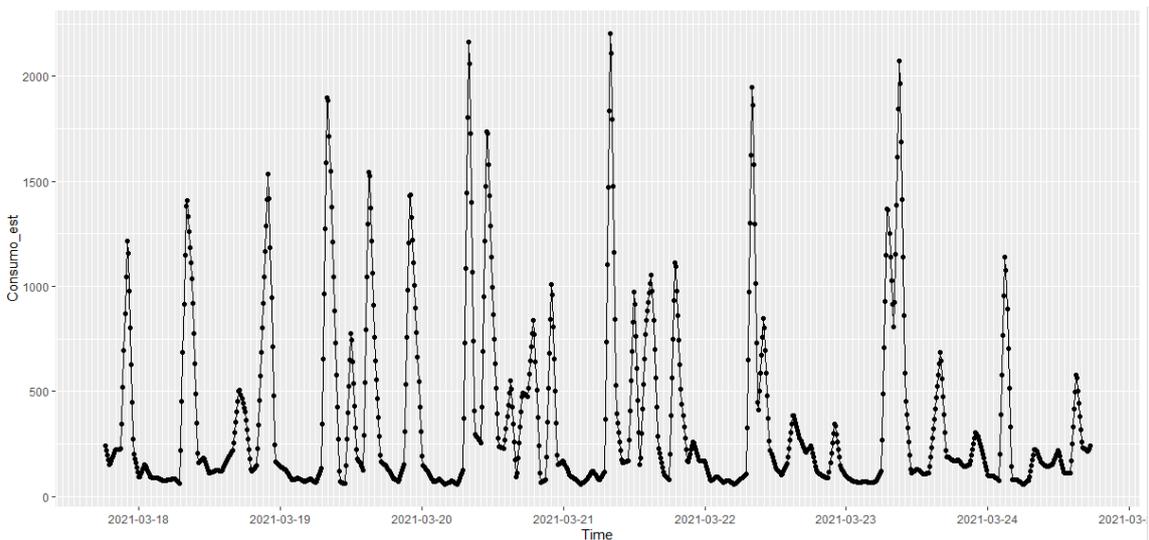


Figura 7.17 Grafica de variable Consumo\_est con los nuevos valores ya estimados (Fuente: Eduard Muñoz)

Tal y como observamos en la gráfica, las líneas más gruesas de puntos en negro corresponden a los valores reales y las líneas de puntos más finas corresponden a los valores imputados o predichos.

Posteriormente creamos una matriz de datos llamada **datosC12** donde se introducen los datos de **TermoHigroA1** y los nuevos datos de **CONSUMO**.

```
64 datosC12 <- cbind(TermoHigroA1,Consumo_est=df1$Consumo_est)
```

Una vez hemos realizado la imputación de los datos **CONSUMO**, nos centraremos en trabajar los datos de **RED\_XEMA**.

En el caso del conjunto de datos **RED\_XEMA** observamos que tenemos una columna para Día, y otra columna para el período de medición. En este caso hemos de compilar las dos columnas unificándolas en una única columna llamada. Pero previamente hemos de tratar la columna Período ya que para unificar el tiempo con el del **TermoHigroA1** y **Consumo\_est** no nos sirve un período sino que debemos tener concretamente horas, minutos y segundos.

El proceso de configurar correctamente la columna de Periodo lo haremos mediante la función **lubridate** como se muestra a continuación:

```
66 #####ORGANIZAMOS FECHA Y HORA RED XEMA
67 Position<-data.frame(do.call('rbind',strsplit(as.character(RED_XEMA$Periodo)," - ",fixed=TRUE)))
68 Position$Time1 = lubridate::ymd_hms(paste0(RED_XEMA$Dia , Position$X1, rep(" :00",length(Position$X1))))
69 Position$Time2 = lubridate::ymd_hms(paste0(RED_XEMA$Dia, Position$X2, rep(" :00",length(Position$X2))))
70 resta = difftime(Position$Time2,Position$Time1)
71 resta[resta<0]=24*60+resta[resta<0]
72 RED_XEMA$Time_av = resta/2+Position$Time1
```

Figura 7.18 Programación (Fuente: Eduard Muñoz)

Se ha de realizar la resta mediante la función **difftime** porque en periodos límite como por ejemplo 23:30-00:00; 00:00-00:30 el programa no realizaba correctamente el salto de día.

A continuación realizamos la imputación de nuevos datos correspondientes a la temperatura registrada por la Red XEMA. EL nuevo conjunto de datos ya imputados se llamará **TempMedia\_est**. Esta imputación y el posterior grafico ggplot se realiza de la misma forma que para la variable **Consumo** que hemos visto anteriormente

```
74 #####IMPUTAMOS TEMPERATURA MEDIA DE RED XEMA
75 fit2 <- approx(RED_XEMA$Time_av, RED_XEMA$TempMedia, xout = datosC12$Time, ties = mean)
76 df2=data.frame(Time=fit2$x, TempMedia_est=fit2$y)
77 #df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)
78 ggplot(df2, aes(Time, TempMedia_est)) +
79   geom_point() + geom_line() +
80   scale_x_datetime(breaks=date_breaks("1 day"),
81                   minor_breaks=date_breaks("1 hour"))
82 datosC12 <- cbind(datosC12,TempMedia_est=df2$TempMedia_est)
```

Figura 7.19 Programación (Fuente: Eduard Muñoz)

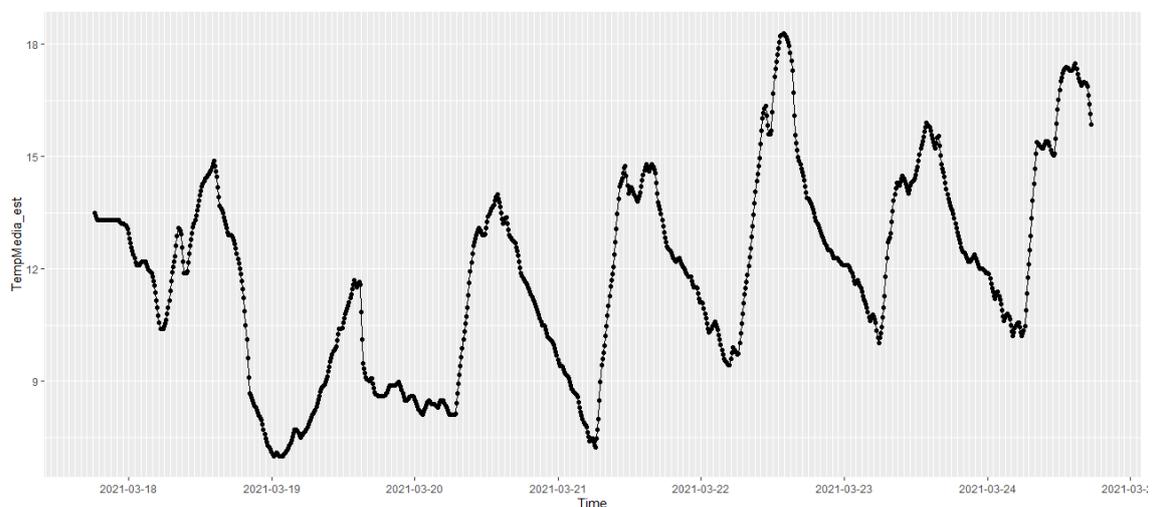


Figura 7.20 Grafica de la variable TempMedia\_est con los nuevos valores ya estimados (Fuente: Eduard Muñoz)

De igual forma que para la gráfica del **Consumo\_Est**, las líneas más gruesas de puntos en negro corresponden a los valores reales y las líneas de puntos más finas corresponden a los valores imputados o predichos.

Introducimos la variable **TempMedia\_est** en datosC12.

A continuación realizamos el mismo proceso de imputación para la Humedad Relativa registrada por la Red XEMA. La nueva serie de datos ya imputados se llamarán **HumRel\_est**:

```

84 #####IMPUTAMOS HUMEDAD RELATIVA RED XEMA
85 fit3 <- approx(RED_XEMA$Time_av, RED_XEMA$HumRel, xout = datosC12$Time, ties = mean)
86 df3=data.frame(Time=fit3$x, HumRel_est=fit3$y)
87 #df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)
88 ggplot(df3, aes(Time, HumRel_est)) +
89   geom_point() + geom_line() +
90   scale_x_datetime(breaks=date_breaks("1 day"),
91                   minor_breaks=date_breaks("1 hour"))
92 datosC12 <- cbind(datosC12, HumRel_est=df3$HumRel_est)

```

Figura 7.21 Programación (Fuente: Eduard Muñoz)

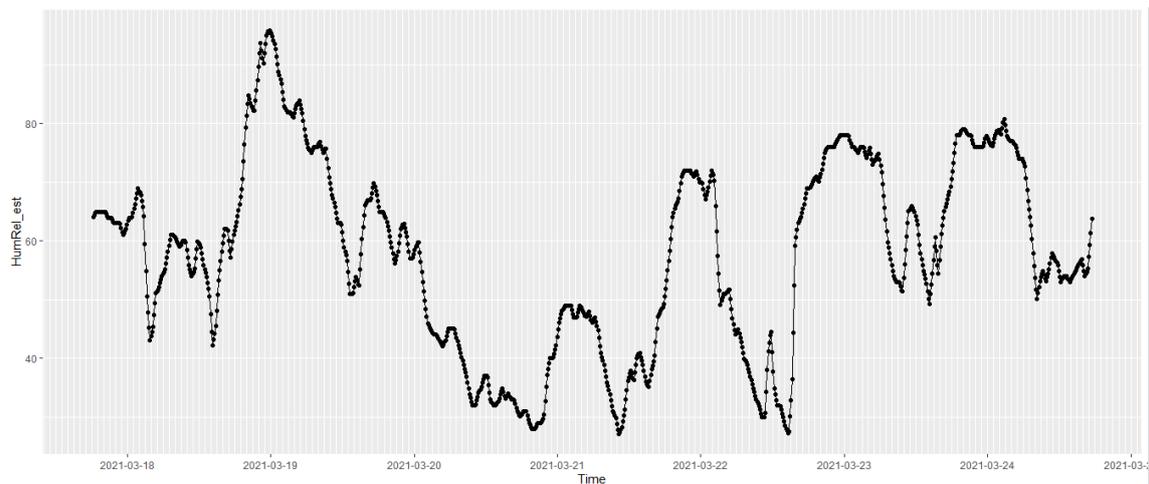


Figura 7.22 Gráfica de la variable HumRel\_est con los nuevos valores ya estimados (Fuente: Eduard Muñoz)

A continuación introducimos la variable **HumRel\_est** en datosC12.

En el caso del sensor de temperatura superficial como también registra valores con una frecuencia de 10 minutos como en el caso del Termohigrometro A1, no será necesario imputar los valores.

En este caso los valores correspondientes a cada canal de los termopares del sensor se introducirán directamente en datosC12.

```

94 #####AÑADIMOS A LA MATRIZ LA TEMPERATURA SUPERFICIAL
95 datosC12 <- cbind(datosC12, TempTecho=TempSuper$Ch1_value)
96 datosC12 <- cbind(datosC12, TempPared=TempSuper$Ch3_value)

```

Figura 7.23 Programación (Fuente: Eduard Muñoz)

Una vez introducimos los datos del sensor de temperatura superficial ya tenemos la matriz de datos completa para poder realizar el estudio estadístico.

Matriz datosC12:

No.	Time	Temperature	Humidity	PresionR	SensasionTermica	Consumo_est	TempMedia_est	HumRel_est	TempMedia_est	HumRel_est	TempTecho	TempPared
1	2021-03-17 18:16:44	20.6	59.8	14.47271	21.38650	241.18667	13.488444	64.05778	13.488444	64.05778	21.1	22.2
2	2021-03-17 18:26:44	21.5	55.1	14.09178	22.15394	219.18667	13.421778	64.39111	13.421778	64.39111	20.4	20.7
3	2021-03-17 18:36:44	21.5	55.1	14.09178	22.15394	197.18667	13.355111	64.72444	13.355111	64.72444	20.1	20.2
4	2021-03-17 18:46:44	21.5	51.6	13.19666	21.84244	175.18667	13.300000	65.00000	13.300000	65.00000	20.0	20.2
5	2021-03-17 18:56:44	21.3	50.0	12.63202	21.44594	153.18667	13.300000	65.00000	13.300000	65.00000	20.1	20.4
6	2021-03-17 19:06:44	21.5	50.0	12.78746	21.70004	154.75333	13.300000	65.00000	13.300000	65.00000	20.1	20.3
7	2021-03-17 19:16:44	21.6	50.6	13.02019	21.88103	167.75333	13.300000	65.00000	13.300000	65.00000	20.1	20.3
8	2021-03-17 19:26:44	21.7	50.6	13.05990	22.00876	180.75333	13.300000	65.00000	13.300000	65.00000	20.1	20.1
9	2021-03-17 19:36:44	21.7	50.6	13.05990	22.00876	193.75333	13.300000	65.00000	13.300000	65.00000	20.1	20.3
10	2021-03-17 19:46:44	21.7	50.1	12.97045	21.96372	206.75333	13.300000	65.00000	13.300000	65.00000	20.1	20.3

Figura 7.24 Matriz datosC12 (Fuente: Eduard Muñoz)

Observamos como para cada tiempo existe un valor establecido de cada variable.

Si analizamos la matriz global de datos, observamos que en caso de comparar 2 variables de tipo temperatura no existiría ningún problema de escalas ya que se están en el mismo orden de magnitud.

Pero en el caso de querer comparar la variable consumo por ejemplo con la humedad o la temperatura de Red XEMA, observamos que no se trata de la misma escala y no podamos compararlos correctamente.

Para solventar este problema podemos realizar un escalado de la matriz datosC12 para tener todas las variables en la misma escala y poder compararlas correctamente entre ellas.

Este escalado lo realizaremos mediante la función *preProcess* concretamente con el método de centro, escala.

```

98 #####ESCALAMOS LA MATRIZ DE DATOS
99 Datos.Preprocess <- preProcess(datosC12[,3:11], method=c("center", "scale"))
100 Datos.Escalados <- predict(Datos.Preprocess, datosC12[,3:11])

```

Figura 7.25 Programación (Fuente: Eduard Muñoz)

Una vez escalados los datos tienen la siguiente forma:

Temperature	Humidity	PresionR	SensasionTermica	Consumo_est	TempMedia_est	HumRel_est	TempMedia_est.1	HumRel_est.1
-0.73247507	3.16061271	2.12352080	0.21900483	-0.282618276	0.619883921	0.39658731	0.619883921	0.39658731
0.29176583	1.98840901	1.81107660	0.87212878	-0.336655986	0.594517066	0.41724680	0.594517066	0.41724680
0.29176583	1.98840901	1.81107660	0.87212878	-0.390693697	0.569150210	0.43790629	0.569150210	0.43790629
0.29176583	1.11549137	1.07688116	0.60702597	-0.444731407	0.548180276	0.45498480	0.548180276	0.45498480
0.06415675	0.71644331	0.61375857	0.26959283	-0.498769117	0.548180276	0.45498480	0.548180276	0.45498480
0.29176583	0.71644331	0.74124896	0.48583611	-0.494920977	0.548180276	0.45498480	0.548180276	0.45498480
0.40557038	0.86608633	0.93213974	0.63986740	-0.462989603	0.548180276	0.45498480	0.548180276	0.45498480
0.51937492	0.86608633	0.99751625	0.74857807	-0.431058229	0.548180276	0.45498480	0.548180276	0.45498480
0.51937492	0.86608633	0.99751625	0.74857807	-0.399126854	0.548180276	0.45498480	0.548180276	0.45498480
0.51937492	0.74138381	0.89134260	0.71024095	-0.367195480	0.548180276	0.45498480	0.548180276	0.45498480

Figura 7.26 Matriz de datos escalados (Fuente: Eduard Muñoz)

Mediante la función **summary** podemos conocer el conjunto de herramientas estadísticas de cada variable vistas en el punto 6.1.3 Regresión lineal como por ejemplo la media, la mediana, la moda, máximos y mínimos etc.

```
102 #####INFORMACION GENERAL DATOS ESCALADOS
103 summary(Datos.Escalados)
104
```

Figura 7.27 Programación (Fuente: Eduard Muñoz)

Summary de datos escalados:

Temperature	Humidity	PresionR	SensasionTermica	Consumo_est	TempMedia_est
Min. :-2.21193	Min. :-3.8227	Min. :-3.2221	Min. :-2.29654	Min. :-0.7349	Min. :-1.84899
1st Qu. :-0.73248	1st Qu. :-0.5555	1st Qu. :-0.7287	1st Qu. :-0.67067	1st Qu. :-0.6351	1st Qu. :-0.76980
Median :-0.04965	Median : 0.3423	Median : 0.2415	Median :-0.01541	Median :-0.4541	Median : 0.05353
Mean : 0.00000	Mean : 0.0000	Mean : 0.0000	Mean : 0.00000	Mean : 0.0000	Mean : 0.00000
3rd Qu. : 0.74698	3rd Qu. : 0.5917	3rd Qu. : 0.7710	3rd Qu. : 0.78027	3rd Qu. : 0.2170	3rd Qu. : 0.67227
Max. : 2.45405	Max. : 3.1606	Max. : 2.1235	Max. : 2.49744	Max. : 4.5408	Max. : 2.44850

HumRel_est	TempMedia_est.1	HumRel_est.1
Min. :-1.89662	Min. :-1.84899	Min. :-1.89662
1st Qu. :-0.78458	1st Qu. :-0.76980	1st Qu. :-0.78458
Median : 0.03642	Median : 0.05353	Median : 0.03642
Mean : 0.00000	Mean : 0.00000	Mean : 0.00000
3rd Qu. : 0.79759	3rd Qu. : 0.67227	3rd Qu. : 0.79759
Max. : 2.37274	Max. : 2.44850	Max. : 2.37274

Figura 7.28 Resultado del summary (Fuente: Eduard Muñoz)

```
105 #####INFORMACION GENERAL DATOS NO ESCALADOS
106 summary(datosC12)
```

Figura 7.29 Programación (Fuente: Eduard Muñoz)

Summary de datos no escalados

No.	Time	Temperature	Humidity	PresionR	SensasionTermica
Length:1004	Min. :2021-03-17 18:16:44	Min. :19.30	Min. :31.80	Min. : 7.955	Min. :18.43
Class :character	1st Qu.:2021-03-19 12:04:14	1st Qu.:20.60	1st Qu.:44.90	1st Qu.:10.995	1st Qu.:20.34
Mode :character	Median :2021-03-21 05:51:44	Median :21.20	Median :48.50	Median :12.178	Median :21.11
	Mean :2021-03-21 05:51:44	Mean :21.24	Mean :47.13	Mean :11.884	Mean :21.13
	3rd Qu.:2021-03-22 23:39:14	3rd Qu.:21.90	3rd Qu.:49.50	3rd Qu.:12.824	3rd Qu.:22.05
	Max. :2021-03-24 17:26:44	Max. :23.40	Max. :59.80	Max. :14.473	Max. :24.06

Consumo_est	TempMedia_est	HumRel_est	TempMedia_est	HumRel_est	TempTecho	TempPared
Min. : 57.03	Min. : 7.000	Min. :27.06	Min. : 7.000	Min. :27.06	Min. :17.50	Min. :18.00
1st Qu.: 97.68	1st Qu.: 9.836	1st Qu.:45.00	1st Qu.: 9.836	1st Qu.:45.00	1st Qu.:19.00	1st Qu.:19.80
Median :171.36	Median :12.000	Median :58.25	Median :12.000	Median :58.25	Median :19.70	Median :20.20
Mean : 356.25	Mean :11.859	Mean :57.66	Mean :11.859	Mean :57.66	Mean :19.64	Mean :20.21
3rd Qu.: 444.61	3rd Qu.:13.626	3rd Qu.:70.53	3rd Qu.:13.626	3rd Qu.:70.53	3rd Qu.:20.30	3rd Qu.:20.60
Max. :2204.90	Max. :18.294	Max. :95.94	Max. :18.294	Max. :95.94	Max. :21.40	Max. :22.20

Figura 7.30 Resultado del summary (Fuente: Eduard Muñoz)

A continuación realizaremos la correlación o también conocido como diagrama de dispersión visto en el punto 6.1.3 Regresión lineal.

```
109 #####OBSERVAMOS CORRELACION DE todas LAS VARIABLES
110
111 plot_corr = datosC12 %>%
112   subset(select = -c(No.,Time)) %>%
113   ggally::ggpairs(aes(alpha = 0.4))
114 show(plot_corr)
```

Figura 7.31 Programación (Fuente: Eduard Muñoz)

Mediante la función `plot_corr` realizamos el diagrama de dispersión de toda la matriz de datos.

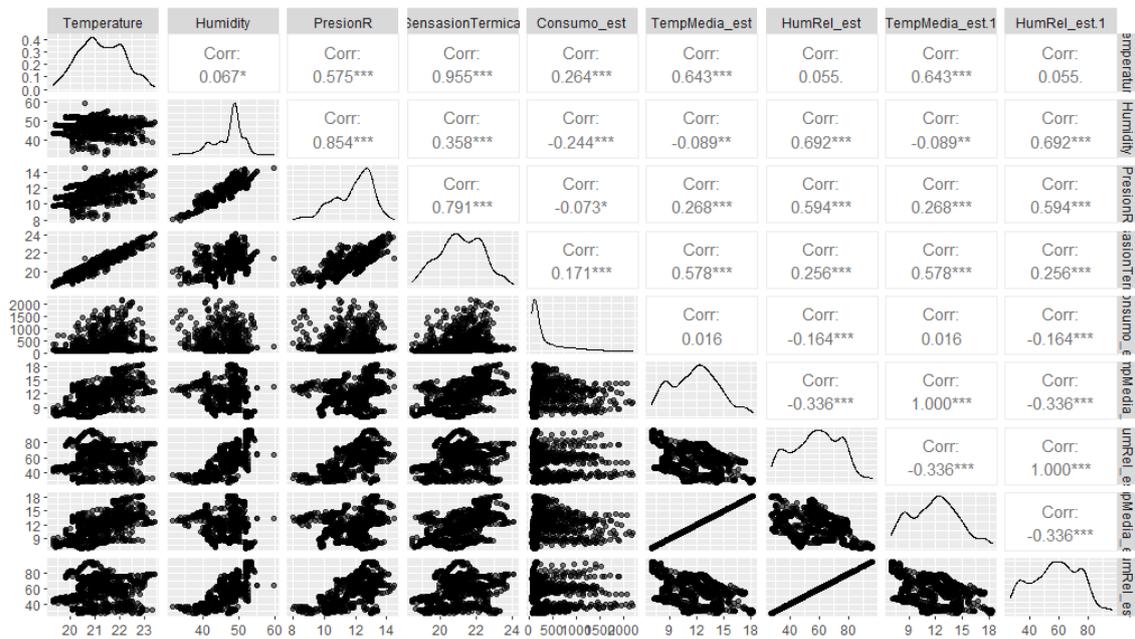


Figura 7.32 Gráfico de dispersión de la matriz de datos (Fuente: Eduard Muñoz)

Como en esta gráfica se ve demasiado compacto todo, podemos especificar dentro de la función `plot_corr` de que variables queremos que realice el diagrama de dispersión

Por ejemplo la correlación entre la variables Consumo vs Temperatura del dormitorio y Humedad del dormitorio vs Temperatura y humedad de la Red XEMA.

```

122 plot_corr = datosc12 %>%
123   subset(select = -c(No.,Time,TempTecho,TempPared,PresionR,SensacionTermica,TempMedia_est,HumRel_est)) %>%
124   ggally::ggpairs(aes(alpha = 0.4))
125   show(plot_corr)

```

Figura 7.33 Programación (Fuente: Eduard Muñoz)

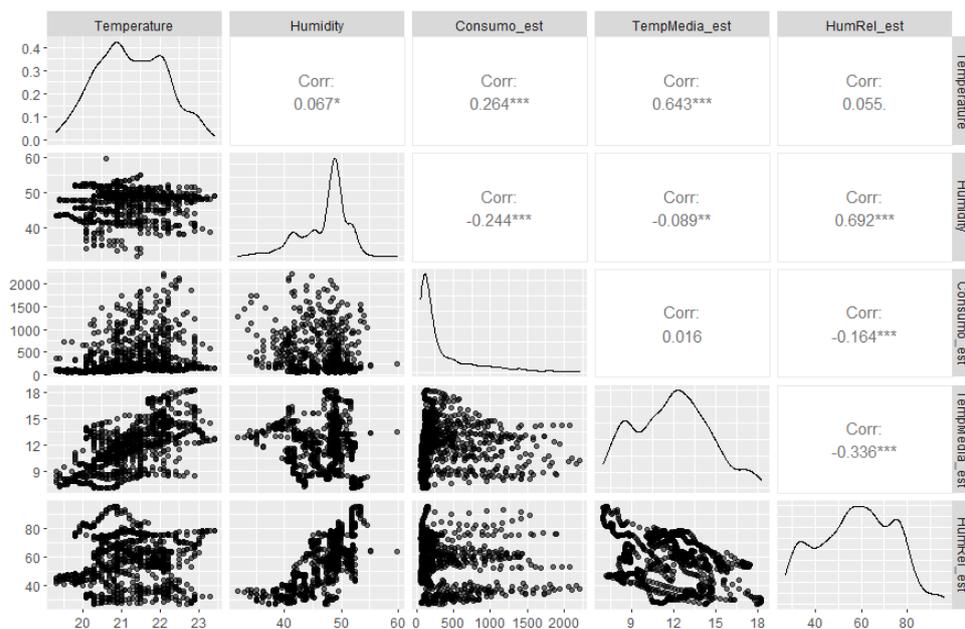


Figura 7.34 Gráfico de dispersión de datos específicos (Fuente: Eduard Muñoz)

Los valores que se nos indican en los gráficos corresponden a la correlación entre las dos variables a nivel gráfico, si nos indica que tiene 3 estrellas quiere decir que las variables entre ellas tienen una correlación alta.

A pesar de ello esta correlación no es suficiente para certificar que las variables tengan una gran correlación entre ellas. Para analizar su correlación nos hemos de basar en el indicativo P-valor el cual se calcula de la siguiente forma:

```

153 #####FIJAMOS EL PUNTO DE PARTIDA DE LA SELECCION ALEATORIA EN 123
154 Data.partition <- datosC12[,3:11]
155 # semilla está en 123
156 attach(Data.partition)
157 set.seed(123)
158 training.samples <- Consumo_est %>%
159   createDataPartition(p = 0.8, list = FALSE)
160 train.data <- Data.partition[training.samples, ]
161 test.data <- Data.partition[-training.samples, ]
162
163 preProcValues <- preprocess(train.data, method = c("center", "scale"))
164 train.data.sc <- predict(preProcValues, train.data)
165 test.data.sc <- predict(preProcValues, test.data)
166 save(train.data.sc, test.data.sc, file = "divided.data.mean.RData")
167 ~#####
168 #                               Modelando
169 ~#####
170
171 Modelo.ALL <- train(data = train.data.sc, Consumo_est ~., method = "lm",
172                   trControl = trainControl("repeatedcv", number = 4, repeats = 50))
173 Modelo.ALL
174 summary(Modelo.ALL)

```

Figura 7.35 Programación ( Fuente: Eduard Muñoz)

Para iniciar el proceso se ha de fijar un punto de partida que de forma aleatoria se decide el punto 123. Si realizamos toda la programación respecto datosC12 concretamente respecto las variables de la posiciones 3 a la 11 obtenemos el siguiente conjunto de resultados donde podemos observar las herramientas estadísticas explicadas en el apartado **6.1.3 Regresión lineal** :

```

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -3.251e-16  2.564e-02  0.000    1
Temperature   2.119e+00  3.031e-01  6.991  5.78e-12 ***
Humidity      2.987e+00  4.799e-01  6.225  7.80e-10 ***
PresionR      -3.711e+00  5.790e-01 -6.410  2.49e-10 ***
SensasionTermica NA          NA          NA          NA
TempMedia_est -6.037e-01  4.892e-02 -12.341 < 2e-16 ***
HumRel_est    -4.161e-01  4.520e-02 -9.206 < 2e-16 ***
TempTecho     1.342e+00  7.926e-02  16.936 < 2e-16 ***
TempPared     -8.450e-01  6.074e-02 -13.911 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.727 on 796 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4761,    Adjusted R-squared:  0.4715
F-statistic: 103.3 on 7 and 796 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

Figura 7.36 Conjunto de herramientas estadísticas (Fuente: Eduard Muñoz)

En esta tabla se muestran las relaciones de todas las variables respecto la variable base que es consumo, podemos observar en la última columna donde todos los valores son prácticamente un 0 de máquina lo que nos indica que están fuertemente relacionados con la variable consumo. El hecho de tener 3 estrellas también nos indica que se trata de un 0 de máquina. El hecho que para la sensación térmica nos aparezca NA nos indica que es linealmente dependiente de otra de las variables. Esto es un hallazgo impresionante ya que el programa nos está indicando que la sensación térmica es linealmente dependiente de la temperatura. Esto tiene sentido ya que si atendemos a la fórmula de la sensación térmica observamos que se trata de una relación lineal respecto la temperatura.

Cabe remarcar que en caso que se hubiese imputado la variable sensación térmica antes que la variable temperatura, para la variable temperatura nos saldrían los valores NA ya que el programa la vería como linealmente dependiente de la temperatura.

En este ejemplo vemos como si colocamos primero la sensación térmica registra los valores de NA en la variable temperatura.

```
Call:
lm(formula = .outcome ~ ., data = dat)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.2635 -0.5410 -0.2866  0.1377  3.9318

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   7.112e-16  3.264e-02   0.00    1
SensasionTermica 6.024e-01  5.250e-02  11.47 <2e-16 ***
PresionR       -5.416e-01  5.250e-02 -10.32 <2e-16 ***
Temperature                NA         NA     NA     NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.9256 on 801 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1454,    Adjusted R-squared:  0.1432
F-statistic: 68.12 on 2 and 801 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Figura 7.37 Ejemplo de alteración del orden (Fuente: Eduard Muñoz)

Por último si queremos exportar la matriz de datosC12 o la de datos imputados en formato .csv podemos realizarlo de la siguiente forma:

```
194 write_excel_csv2(Datos.Escalados,"DatosC12Escal.csv")
...
```

Figura 7.38 Programación (Fuente: Eduard Muñoz)

## 8. Resultados

Para la presentación de los resultados obtenidos se ha optado por diferenciar los resultados experimentales de los resultados estadísticos.

En los resultados experimentales se mostrarán los resultados que los sensores han registrado directamente previo al proceso de tratamiento estadístico. En estos primeros resultados se mostrarán cada variable registrada por los sensores de forma independiente y se analizará en que franjas horarias se registran los valores máximos o mínimos.

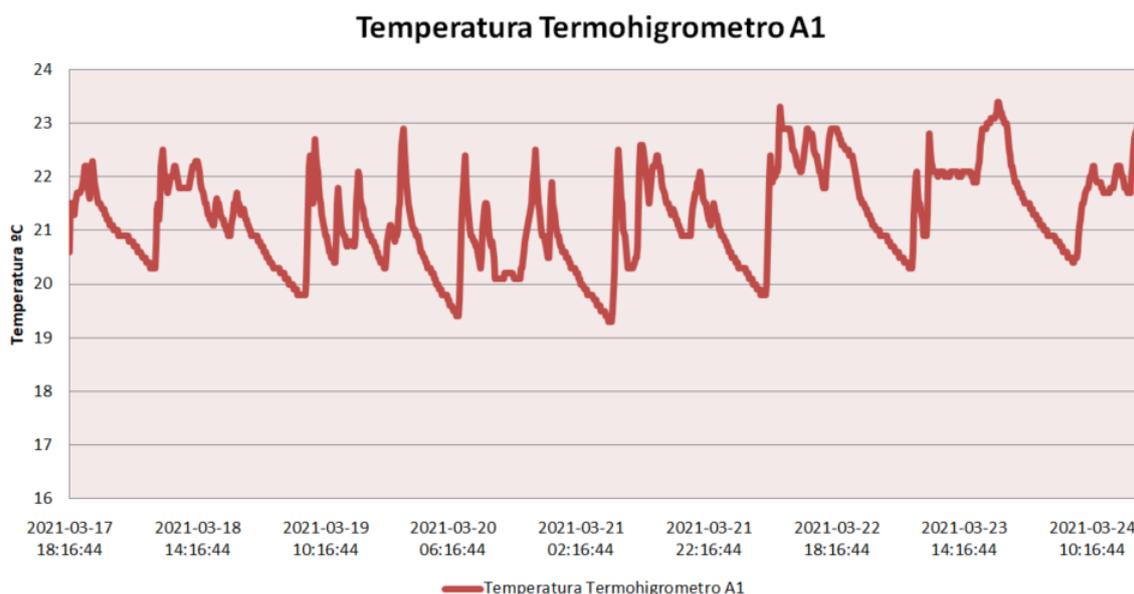
En los resultados estadísticos se mostrarán todo el conjunto de datos una vez tratados analíticamente y se compararán unas variables con otras para analizar si existen patrones de comportamiento similares.

## 8.1. Resultados experimentales

### 8.1.1. Parellada, 9

En este piso ubicado en el barrio de Sant Andreu los sensores registraron valores desde el día 17/03/2021 al 24/03/2021.

- **Termohigrometro A1**



**Figura 8.1** Temperatura Termohigrómetro A1 (Fuente: Eduard Muñoz)

En la gráfica se muestra el comportamiento de la temperatura registrado por el sensor Termohigrometro A1 ubicado en el estudio de la vivienda. Lo primero que observamos es que la temperatura nunca desciende de los 19°C y tampoco supera los 24°C esto nos indica que en los 7 días de medición, se mantuvo una temperatura agradable y de confort en el estudio.

A continuación se muestra la tabla correspondiente a los valores límite para cada uno de los días:

Días	Máximo/Mínimo	Temperatura (°C)	Hora
17/03/21	Máx.	22,3	21:46:44
	Mín.	20,6	18:16:44
18/03/21	Máx.	22,5	08:46:44
	Mín.	20,3	06:56:44
19/03/21	Máx.	22,7	08:36:44
	Mín.	19,8	06:06:44
20/03/21	Máx.	22,5	19:06:44
	Mín.	19,4	07:56:44
21/03/21	Máx.	22,4	14:06:44

	Mín.	19,3	07:06:44
22/03/21	Máx.	22,9	10:56:44
	Mín.	19,8	06:26:44
23/03/21	Máx.	23,4	19:36:44
	Mín.	20,3	05:36:44
24/03/21	Máx.	23	17:26:44
	Mín.	20,4	07:26:44

Figura 8.2 Tabla de máximos y mínimos (Fuente: Eduard Muñoz)

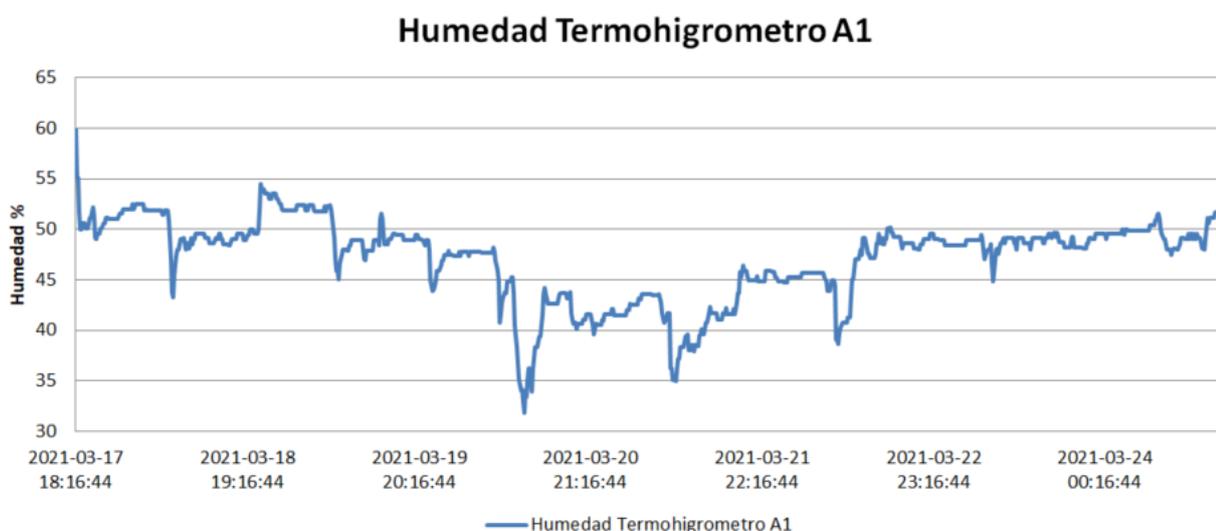


Figura 8.3 Humedad Termohigrómetro A1 (Fuente: Eduard Muñoz)

En la gráfica se muestra el comportamiento de la Humedad Relativa registrada por el sensor Termohigrometro A1 ubicado en el estudio de la vivienda. Si prestamos atención a su comportamiento observamos que la Humedad nunca desciende por debajo del 30% y tampoco supera nunca el límite del 60%, esto nos indica que no se trata de un ambiente especialmente húmedo.

A continuación se muestra la tabla correspondiente a los valores límite para cada uno de los días:

Días	Máximo/Mínimo	Humedad Relativa %	Hora
17/03/21	Máx.	59,8	18:16:44
	Mín.	49	21:16:44
18/03/21	Máx.	53,5	23:26:44
	Mín.	48,5	09:26:44
19/03/21	Máx.	52,5	00:06:44
	Mín.	47	08:06:44
20/03/21	Máx.	47,8	02:26:44
	Mín.	31,8	11:36:44

21/03/21	Máx.	45,9	23:16:44
	Mín.	35	09:46:44
22/03/21	Máx.	50,2	16:56:44
	Mín.	38,6	09:26:44
23/03/21	Máx.	49,7	16:46:44
	Mín.	44,8	07:56:44
24/03/21	Máx.	51,7	16:26:44
	Mín.	48,1	10:26:44

Figura 8.4 Tabla de máximos y mínimos (Fuente: Eduard Muñoz)

- **Sensor de calidad de aire**

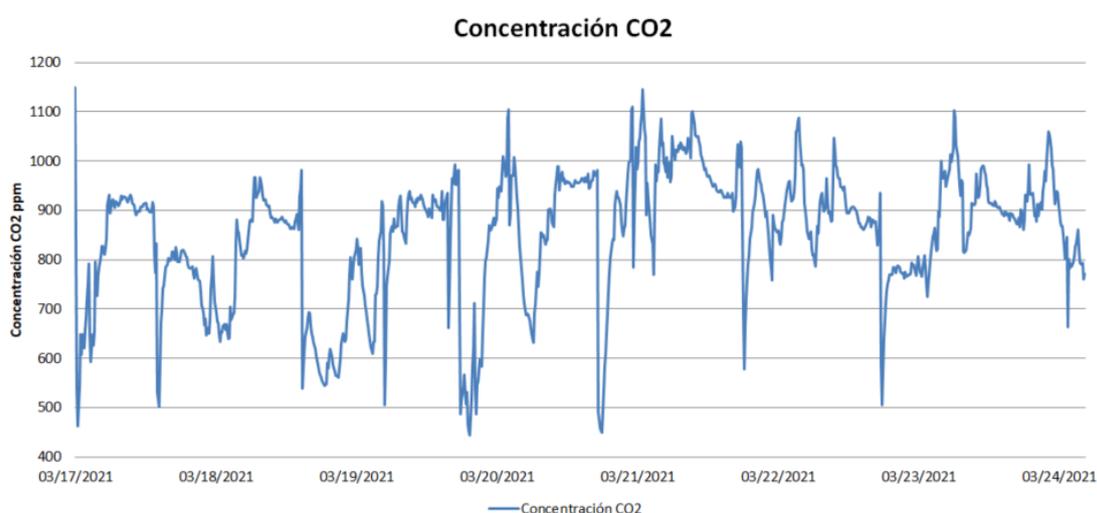


Figura 8.5 Gráfica de concentración de CO2 (Fuente: Eduard Muñoz)

En el caso de la concentración de CO2 observamos que todos los valores están comprendidos entre 400ppm y 1200ppm.

En el caso de la concentración de CO2 estudiaremos el valor máximo de concentración por día para poder valorar si este máximo supera las 800ppm a partir de las cuales se considera que un espacio no está bien ventilado.

Días	Concentración máxima	Hora
17/03/21	1150 ppm	18:33:52
18/03/21	966 ppm	23:23:52
19/03/21	966 ppm	00:03:52
20/03/21	1087 ppm	16:43:52
21/03/21	1146 ppm	13:23:52
22/03/21	1088 ppm	14:23:52
23/03/21	1089 ppm	15:23:52
24/03/21	1060 ppm	06:13:52

Figura 8.6 Tabla de máxima concentración de CO2 (Fuente: Eduard Muñoz)

- **Termohigrometro A2**

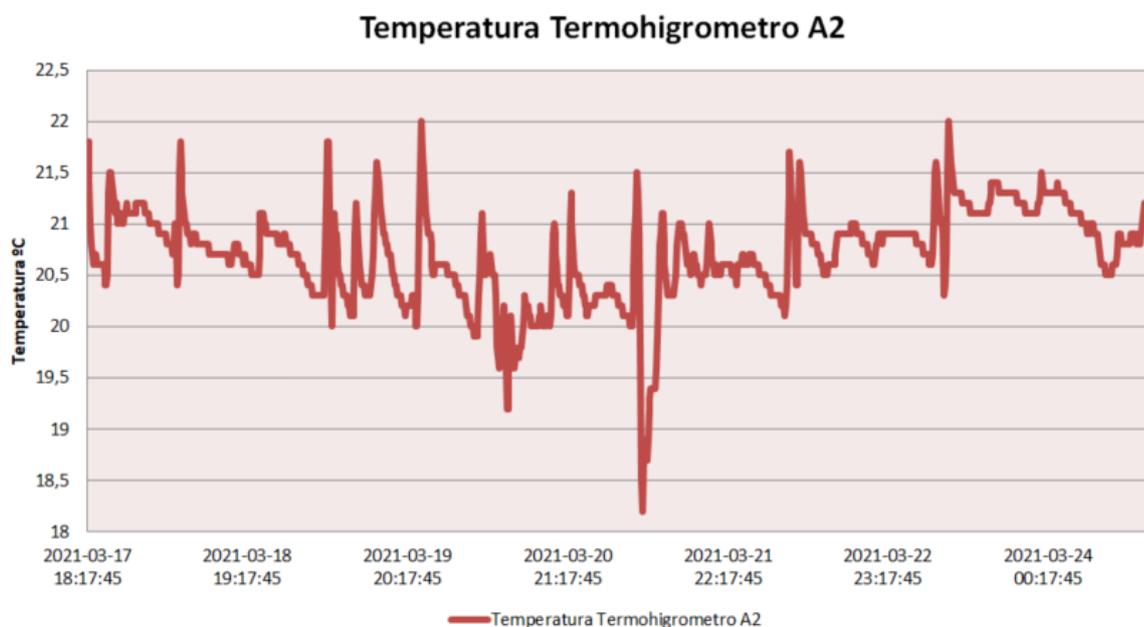


Figura 8.7 Temperatura Termohigrómetro A2 (Fuente: Eduard Muñoz)

En la gráfica se muestra el comportamiento de la temperatura registrada por el sensor Termohigrometro A2 ubicado en el dormitorio de la vivienda. Lo primero que observamos es que la temperatura nunca desciende de los 18°C y tampoco supera los 22,5°C esto nos indica que en los 7 días de medición, se mantuvo una temperatura agradable y de confort en el estudio pero ligeramente inferior a la registrada en media en el Termohigrometro A1.

A continuación se muestra la tabla correspondiente a los valores límite para cada uno de los días:

Días	Máximo/Mínimo	Temperatura (°C)	Hora
17/03/21	Máx.	21,8	18:27:45
	Mín.	20,4	21:17:45
18/03/21	Máx.	21,8	08:47:45
	Mín.	20,5	20:07:45
19/03/21	Máx.	21,7	22:37:45
	Mín.	20,3	05:27:45
20/03/21	Máx.	21,3	21:47:45
	Mín.	19,2	11:57:45
21/03/21	Máx.	21	14:37:45
	Mín.	18,2	08:57:45

22/03/21	Máx.	21,6	09:27:45
	Mín.	20,1	07:07:45
23/03/21	Máx.	21,8	08:57:45
	Mín.	20,3	08:07:45
24/03/21	Máx.	21,3	00:07:45
	Mín.	20,5	10:07:45

Figura 8.8 Tabla de máximos y mínimos (Fuente: Eduard Muñoz)

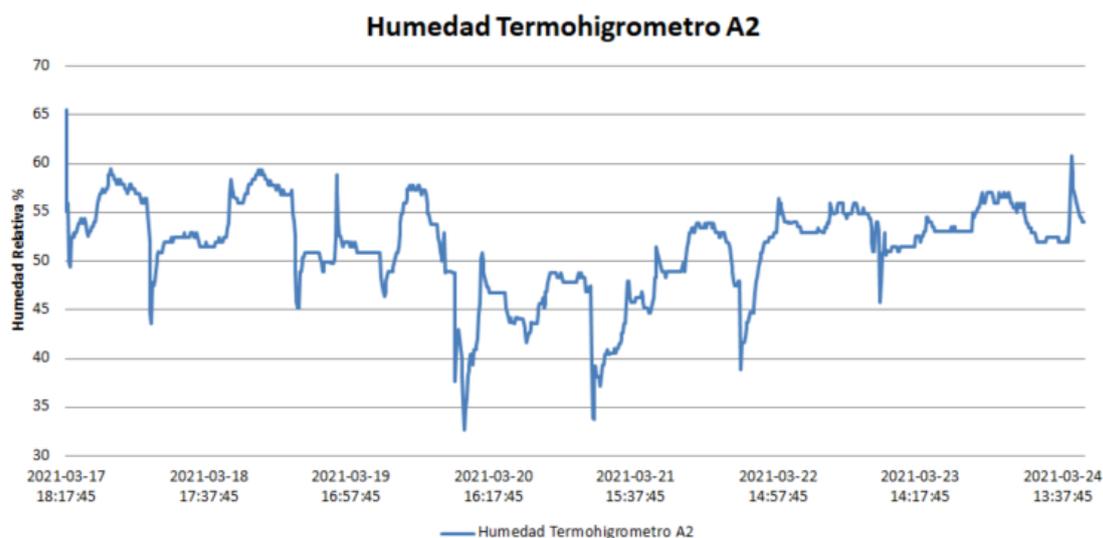


Figura 8.9 Humedad Termohigrómetro A2 (Fuente: Eduard Muñoz)

En la gráfica se muestra el comportamiento de la Humedad Relativa registrada por el sensor Termohigrometro A2 ubicado en el dormitorio de la vivienda. Si prestamos atención a su comportamiento observamos que la Humedad siempre esta comprendida entre el 30% y alrededor del 65%, esto nos indica que no es un ambiente especialmente húmedo pero si ligeramente superior al registrado en el estudio de la vivienda.

A continuación se muestra la tabla correspondiente a los valores límite para cada uno de los días:

Días	Máximo/Mínimo	Humedad Relativa %	Hora
17/03/21	Máx.	65,5	18:17:45
	Mín.	49,4	18:57:45
18/03/21	Máx.	58,9	01:17:45
	Mín.	44,7	08:07:45
19/03/21	Máx.	58,8	14:37:45
	Mín.	45,2	08:17:45
20/03/21	Máx.	57,8	02:37:45

	Mín.	36	11:57:45
21/03/21	Máx.	50,4	23:57.45
	Mín.	33,8	08:47:45
22/03/21	Máx.	56,4	15:07:45
	Mín.	41,6	09:17:45
23/03/21	Máx.	55,9	01:37:45
	Mín.	51	08:37:45
24/03/21	Máx.	57	00:27:45
	Mín.	51,9	09:27:45

Figura 8.10 Tabla de máximos y mínimos (Fuente: Eduard Muñoz)

- **Sensor de temperatura superficial**

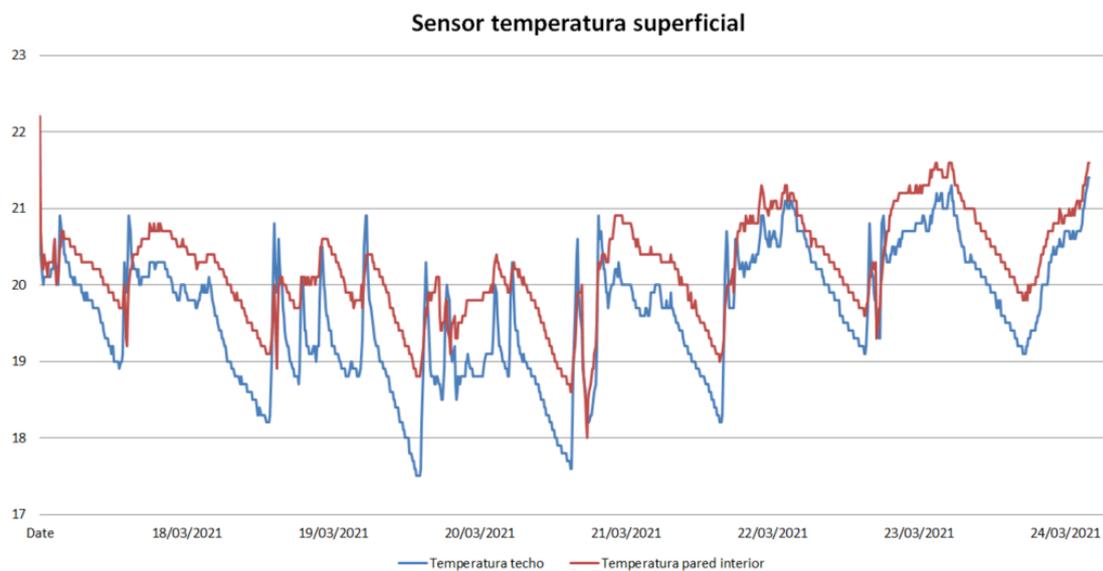


Figura 8.11 Gráfica sensor de temperatura superficial (Fuente: Eduard Muñoz)

Mediante los datos recopilados mediante este sensor podemos concluir que posiblemente las paredes estén mucho mejor aisladas que los techos ya que en general para la misma franja de horas siempre se registra mayor temperatura en la pared que en el techo indicándonos que las paredes retienen muy bien el calor interior. Cabe destacar también que aunque la temperatura de la pared sea mayor que la del techo también se considera que el techo hace bien de aislante ya que su temperatura nunca decrece menos de 17°C.

### 8.1.2. Junta del comerç, 14

En este piso ubicado en el barrio del Raval los sensores registraron valores desde el día 18/02/2021 al 22/02/2021.

- **Termohigrometro A1**

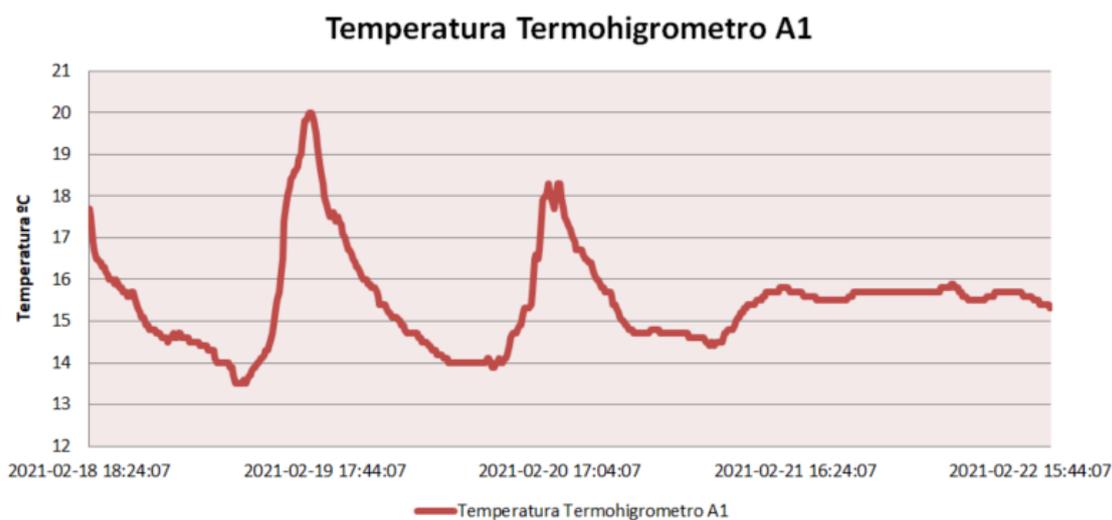


Figura 8.12 Temperatura Termohigrómetro A1 (Fuente: Eduard Muñoz)

En la gráfica se muestra el comportamiento de la temperatura registrada por el sensor Termohigrómetro A1 ubicado en el dormitorio principal de la vivienda. Se observa que el rango de temperaturas de encuentra entre los 13°C y 20°C indicándonos que el ambiente en la habitación no es muy confortable al encontrarse mayoritariamente en una temperatura baja.

A continuación se muestra la tabla correspondiente a los valores límite para cada uno de los días:

Días	Máximo/Mínimo	Temperatura °C	Hora
18/02/21	Máx.	17,7	18:24:07
	Mín.	15	23:54:07
19/02/21	Máx.	20	16:14:07
	Mín.	13,5	09:54:07
20/02/21	Máx.	18,3	17:04:07
	Mín.	13,9	10:24:07
21/02/21	Máx.	15,7	22:14:07
	Mín.	14,4	08:24:07

22/02/21	Máx.	15,9	08:04:27
	Mín.	15,5	09:34:07

Figura 8.13 Tabla de máximos y mínimos (Fuente: Eduard Muñoz)

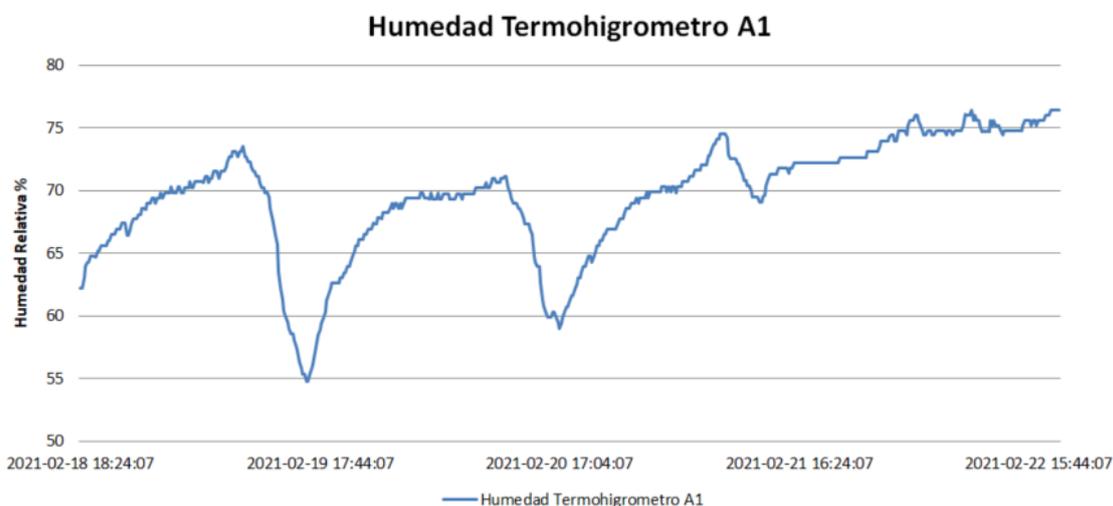


Figura 8.14 Humedad Termohigrómetro A1 (Fuente: Eduard Muñoz)

En la gráfica se muestra el comportamiento de la Humedad Relativa registrada por el sensor Termohigrometro A1 ubicado en el dormitorio principal de la vivienda. Si prestamos atención a su comportamiento observamos que la Humedad esta comprendida entre el 50%% y alrededor del 75%, esto nos indica que es un ambiente especialmente húmedo en el cual puede aumentar la sensación de frío.

A continuación se muestra la tabla correspondiente a los valores límite para cada uno de los días:

Días	Máximo/Mínimo	Humedad Relativa %	Hora
18/02/21	Máx.	67,7	23:54:07
	Mín.	62,2	18:24:07
19/02/21	Máx.	73,5	10:14:07
	Mín.	54,8	16:14:07
20/02/21	Máx.	71,1	11:54:07
	Mín.	59	17:04:07
21/02/21	Máx.	74,5	08:54:07
	Mín.	69	00:04:07
22/02/21	Máx.	76,4	16:54:07
	Mín.	73,1	00:04:07

Figura 8.15 Tabla de máximos y mínimos (Fuente: Eduard Muñoz)

- **Termohigrometro A2**

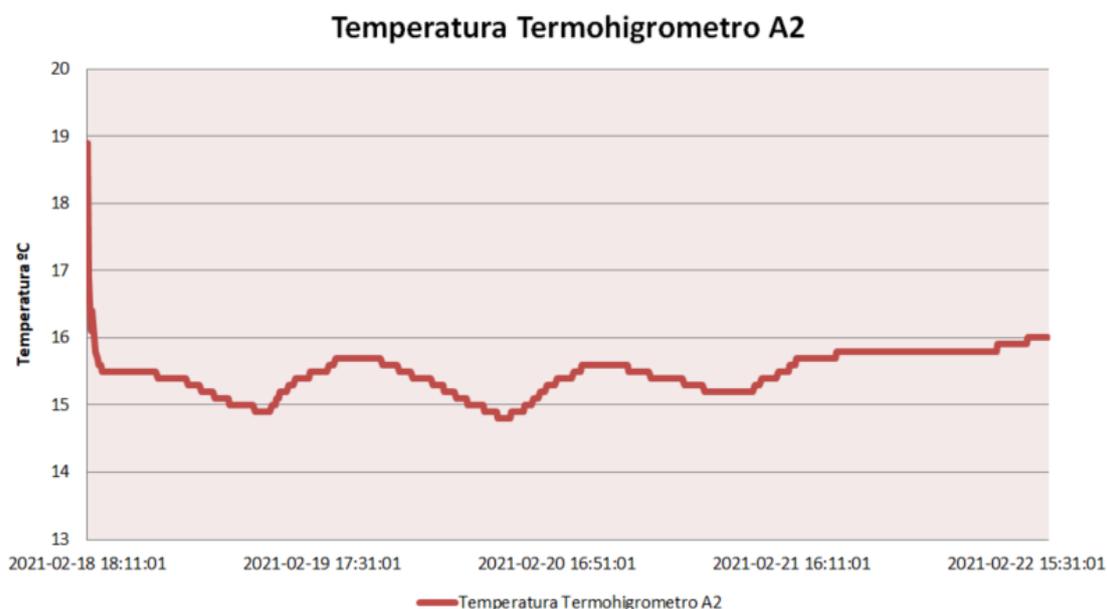


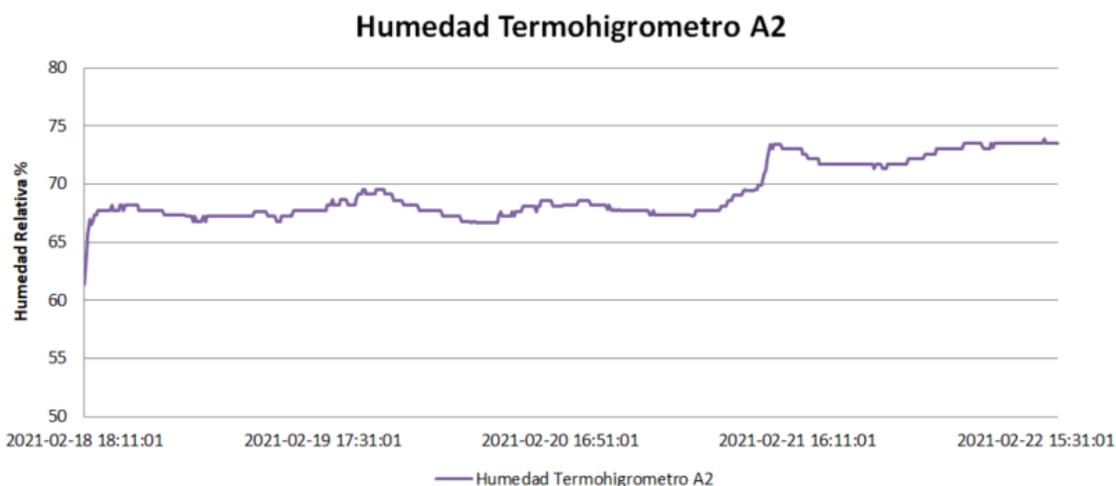
Figura 8.16 Temperatura Termohigrómetro A2 (Fuente: Eduard Muñoz)

En la gráfica se muestra el comportamiento de la temperatura registrada por el sensor Termohigrómetro A2 ubicado en el dormitorio auxiliar de la vivienda. Se observa que el rango de temperaturas de encuentra sumamente estable alrededor de las temperaturas 16°C y 15°C lo que nos indica que durante todo el proceso de medición esta habitación secundaria se encontraba en un ambiente poco confortable.

A continuación se muestra la tabla correspondiente a los valores límite para cada uno de los días:

Días	Máximo/Mínimo	Temperatura °C	Hora
18/02/21	Máx.	18,9	18:11:01
	Mín.	15,5	20:21:01
19/02/21	Máx.	15,7	18:51:01
	Mín.	14,9	10:51:01
20/02/21	Máx.	15,6	01:01:01
	Mín.	14,8	11:41:01
21/02/21	Máx.	15,8	20:41:01
	Mín.	15,4	14:41:01
22/02/21	Máx.	16	15:41:01
	Mín.	15,8	00:01:01

Figura 8.17 Tabla de máximos y mínimos (Fuente: Eduard Muñoz)



**Figura 8.18** Humedad termohigrómetro A2 (Fuente: Eduard Muñoz)

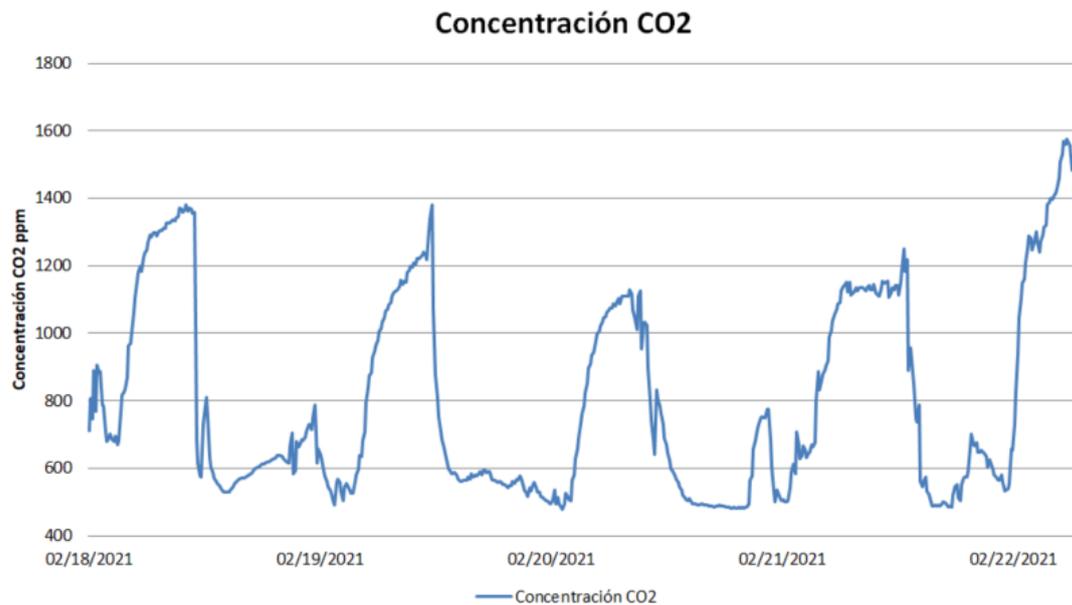
En la gráfica se muestra el comportamiento de la Humedad Relativa registrada por el sensor Termohigrometro A2 ubicado en el dormitorio auxiliar de la vivienda. Si prestamos atención a su comportamiento observamos que la Humedad se distribuye alrededor del 70% siendo superior a la del dormitorio principal lo que denota una sensación de poco confort en las dos habitaciones.

A continuación se muestra la tabla correspondiente a los valores límite para cada uno de los días:

Días	Máximo/Mínimo	Humedad Relativa %	Hora
18/02/21	Máx.	68,2	20:51:01
	Mín.	61,4	18:11:01
19/02/21	Máx.	69,5	21:41:01
	Mín.	66,8	04:51:01
20/02/21	Máx.	69,1	00:21:01
	Mín.	66,7	09:51:01
21/02/21	Máx.	73,4	13:51:01
	Mín.	67,3	03:11:01
22/02/21	Máx.	73,9	16:21:01
	Mín.	71,7	00:01:01

**Figura 8.18** Tabla de máximos y mínimos (Fuente: Eduard Muñoz)

- **Sensor de calidad de aire**



**Figura 8.19** Gráfica de la concentración de CO2 (Fuente: Eduard Muñoz)

Prestando atención al gráfico de la concentración de CO<sub>2</sub>, ya podemos observar que en muchos periodos de los cuatro días que se tomó la serie de datos se superó con creces el límite de 800ppm que se ha establecido a partir del cual se considera que un espacio no está bien ventilado.

Para tener la certeza de cuales han sido los picos de concentración de CO<sub>2</sub>, a continuación se muestra una tabla donde podemos observar el valor máximo de concentración de cada día y la hora en la que se produjo.

Días	Concentración máxima	Hora
18/02/21	964 ppm	23:51:53
19/02/21	1381 ppm	05:41:53
20/02/21	1382 ppm	06:31:53
21/02/21	1130 ppm	02:31:53
22/02/21	1576 ppm	22:41:53

**Figura 8.20** Tabla de concentraciones máximas (Fuente: Eduard Muñoz)

- **Sensor de temperatura superficial**

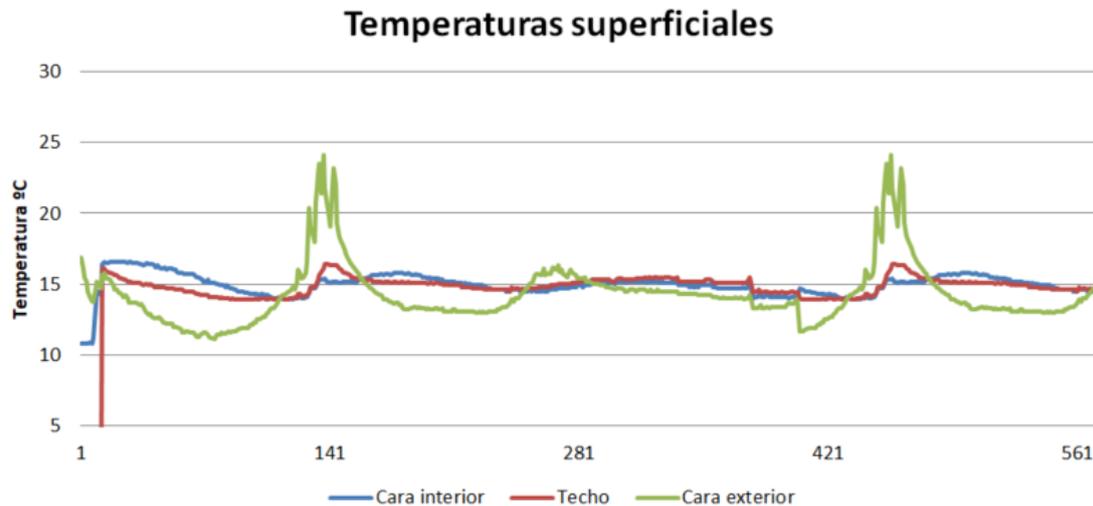


Figura 8.21 Gráfica de temperaturas superficiales (Fuente: Eduard Muñoz)

En el caso del registro de datos obtenidos mediante el sensor de temperatura superficial, lo primero que llama la atención es que el comportamiento a nivel térmico del techo y de la cara interior de la pared es muy similar. Manteniéndose la temperatura de las dos superficies prácticamente constante entre ellas.

Otro hecho que hay que remarcar es el hecho que mientras en momentos del día la cara exterior de la pared registra valores de temperatura cercanos a los 25 °C la cara interior de la misma pared registra en ese momento valores de alrededor de 15 °C.

Es un fenómeno muy interesante el hecho que una pared de 33cm de grosos con salida al exterior registre una diferencia de temperaturas de alrededor de 10 °C entre sus dos caras.

- **Sonómetro**

En el caso de las mediciones registradas mediante el sonómetro se a querido estudiar el valor promedio de cada día para analizar si supera los 55dB-60dB a partir de los cuales el ruido ya puede ocasionar alteraciones de sueño y comunicación

Días	Ruído promedio
18/02/21	65,34 dB
19/02/21	59,70 dB
20/02/21	68,42 dB
21/02/21	50,03 dB
22/02/21	41,45 dB

Figura 8.22 Tabla de ruido máximo registrado (Fuente: Eduard Muñoz)

Tal y como podemos observar en general no se ha superado el límite de 60 dB salvo en dos días que sí que se superó ese límite pero la desviación no fue muy elevada.

- **Sensor de flujo de calor**

A partir de los datos obtenidos mediante el sensor de flujo de calor se ha decidido calcular la resistencia térmica mediante la siguiente ecuación:

$$R_T = \frac{\Delta T}{\dot{Q}} \quad \text{(Eq. 8.1)}$$

Donde  $\Delta T$ = diferencia de temperaturas de las dos caras de la pared siendo en nuestro caso de 10 °C y  $\dot{Q}$ = flujo de calor que en el momento de esa diferencia de temperatura era de 755,775 W/m<sup>2</sup> :

$$R_T = \frac{\Delta T}{\dot{Q}} = \frac{25 - 15}{755,755} = 0,01323 \frac{m^2 K}{W}$$

### 8.1.3. Sant Pau,122

En este piso ubicado en el barrio del Raval los sensores registraron valores desde el día 19/03/2021 al 22/02/2021.

- **Termohigrometro A1**

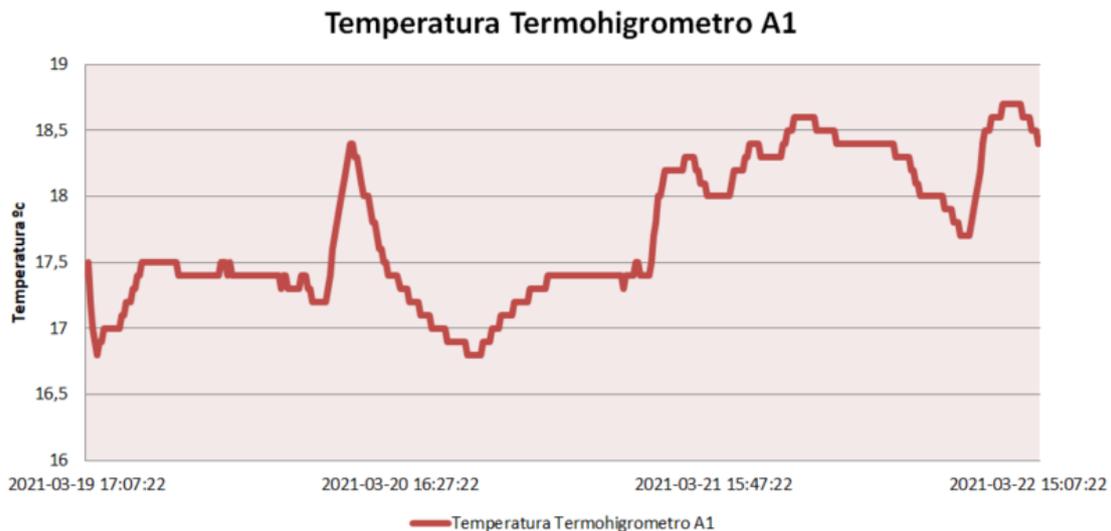


Figura 8.23 Temperatura Termohigrómetro A1 (Fuente: Eduard Muñoz)

Si observamos las temperaturas registradas por el termohigrómetro A1 correspondientes al dormitorio principal, observamos que siempre se encuentran comprendidas entre alrededor de 17°C y 18,5°C esto nos hace pensar que a pesar que nunca descienden de los 16,5 °C como

en otros pisos tampoco suben en ningún momento de los 19°C lo cual nos lleva a pensar que en algunos momentos se puede tener la sensación de frío en el dormitorio.

A continuación se muestra la tabla correspondiente a los valores límite para cada uno de los días:

Días	Máximo/Mínimo	Temperatura °C	Hora
19/03/21	Máx.	17,5	22:07:22
	Mín.	16,8	17:72:22
20/03/21	Máx.	18,4	12:57:22
	Mín.	16,8	21:37:22
21/03/21	Máx.	18,6	21:47:22
	Mín.	17,1	00:07:22
22/03/21	Máx.	18,7	13:17:22
	Mín.	17,7	10:47:22

Figura 8.24 Tabla de máximos y mínimos (Fuente: Eduard Muñoz)

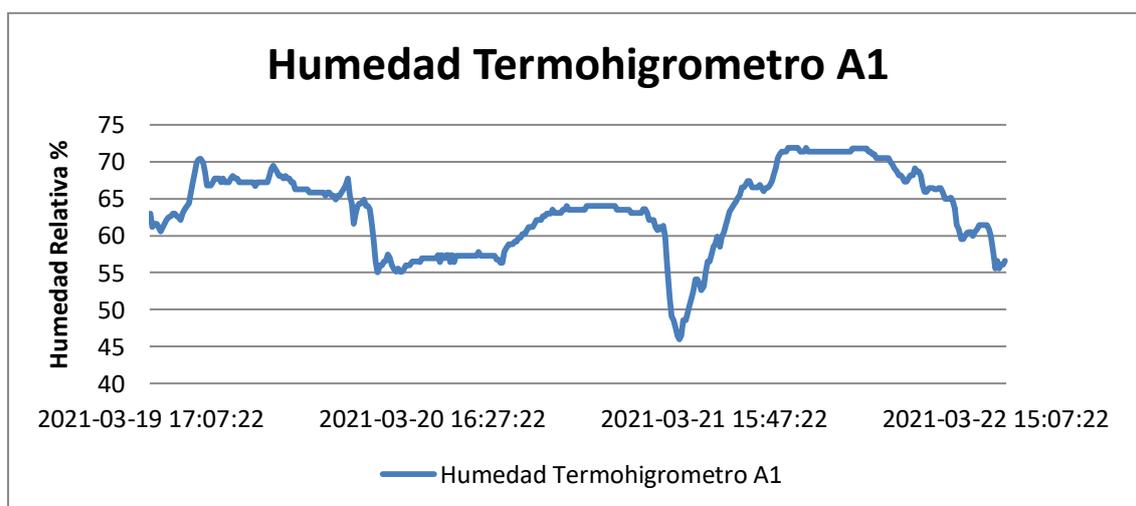


Figura 8.25 Humedad Termohigrómetro A1 (Fuente: Eduard Muñoz)

Si prestamos atención al comportamiento de la Humedad relativa registrada observamos que se encuentra entre los valores alrededor del 45% y 70%. También se observa que en muchos períodos la humedad se encuentra alrededor del 70%. Estos niveles tan altos de humedad pueden provocar una sensación térmica poco confortable en la vivienda.

A continuación se muestra la tabla correspondiente a los valores límite para cada uno de los días:

Días	Máximo/Mínimo	Humedad Relativa %	Hora
19/03/21	Máx.	67,7	22:27:22
	Mín.	61,2	17:17:22
20/03/21	Máx.	69	03:07:22
	Mín.	56,4	17:57:22
21/03/21	Máx.	71,9	22:27:03
	Mín.	46	13:07:22
22/03/21	Máx.	71,8	03:17:22
	Mín.	56,1	15:37:22

Figura 8.26 Tabla de máximos y mínimos (Fuente: Eduard Muñoz)

- **Termohigrometro A2**

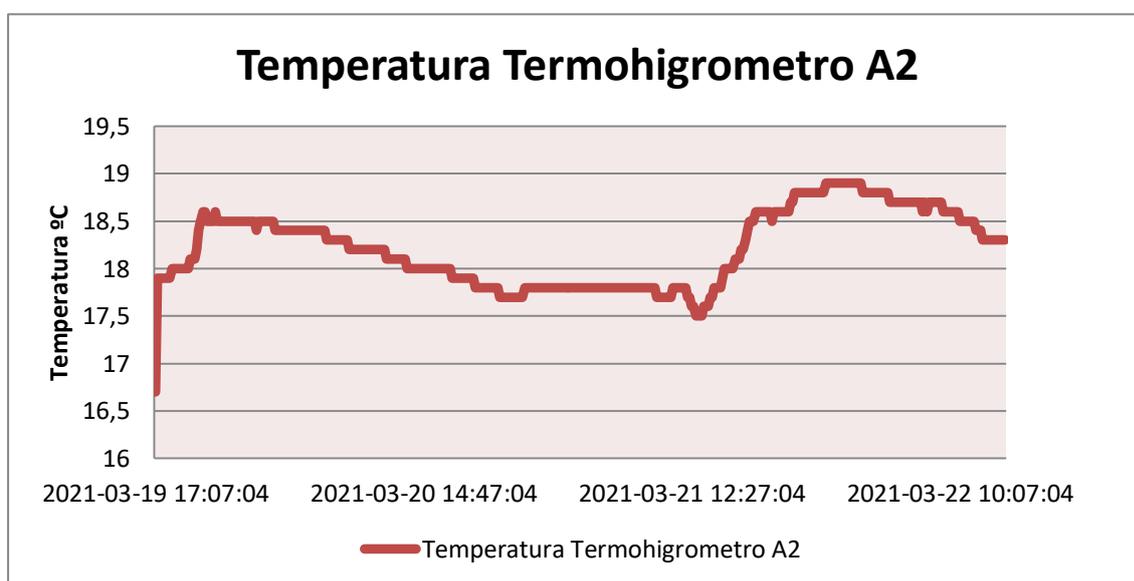


Figura 8.27 Temperatura Termohigrómetro A2 (Fuente: Eduard Muñoz)

Si observamos el comportamiento de la temperatura registrada por el Termohigrometro A2 en el dormitorio auxiliar observamos que se sigue cumpliendo el patrón de comportamiento visto en el Termohigrometro A1, la temperatura se muestra estable entre los intervalos 16,5°C y 18,5°C si bien es cierto que nunca desciende de los 16,5°C tampoco supera nunca los 19°C lo cual para tratarse de una temperatura máxima, es relativamente baja para épocas invernales.

A continuación se muestra la tabla correspondiente a los valores límite para cada uno de los días:

Días	Máximo/Mínimo	Temperatura °C	Hora
19/03/21	Máx.	18,6	21:07:04
	Mín.	16,7	17:07:04
20/03/21	Máx.	18,6	01:07:04
	Mín.	17,7	20:57:04
21/03/21	Máx.	18,9	23:47:04
	Mín.	17,5	12:47:04

22/03/21	Máx.	18,9	00:07:04
	Mín.	18,3	13:47:04

Figura 8.28 Tabla de máximos y mínimos (Fuente: Eduard Muñoz)

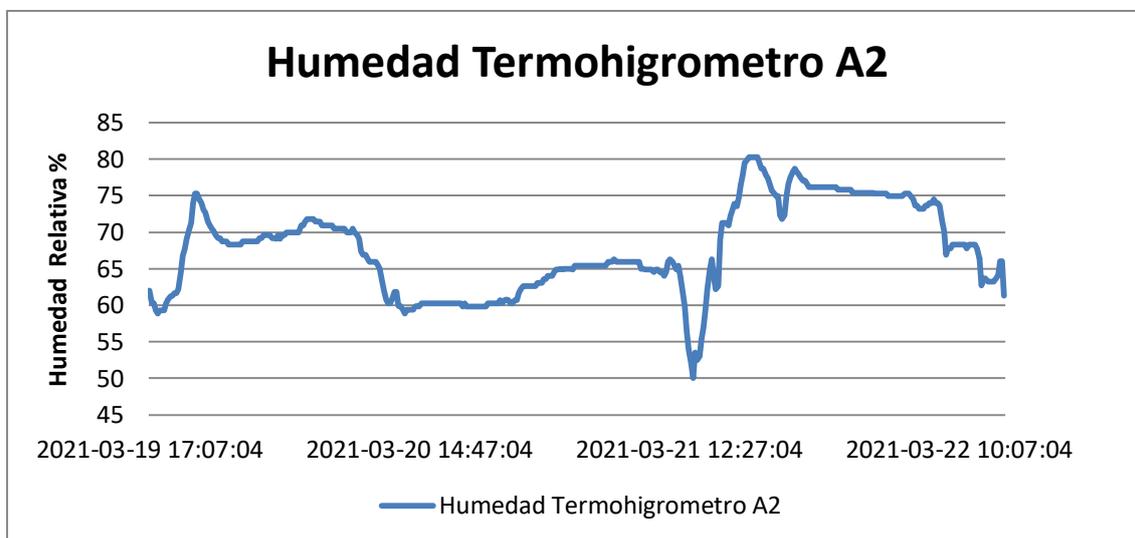


Figura 8.29 Humedad Termohigrómetro A2 (Fuente: Eduard Muñoz)

Si comparamos la humedad relativa registrada por el Termohigrometro A2 respecto la medida por el Termohigrometro A1 observamos que en este caso la humedad del dormitorio auxiliar adquiere valores mayores respecto la humedad registrada por el Termohigrometro A1 en el dormitorio principal. Podemos llegar a concluir que posiblemente en el dormitorio auxiliar se perciba más sensación de frío que en el dormitorio principal.

A continuación se muestra la tabla correspondiente a los valores límite para cada uno de los días:

Días	Máximo/Mínimo	Humedad Relativa %	Hora
19/03/21	Máx.	75,3	20:57:04
	Mín.	60,3	17:17:04
20/03/21	Máx.	71,8	06:17:04
	Mín.	59,4	13:27:04
21/03/21	Máx.	80,3	17:27:04
	Mín.	50	12:47:04
22/03/21	Máx.	75,8	00:37:04
	Mín.	61,3	13:47:04

Figura 8.30 Tabla de máximos y mínimos (Fuente: Eduard Muñoz)

- Sensor de calidad de aire

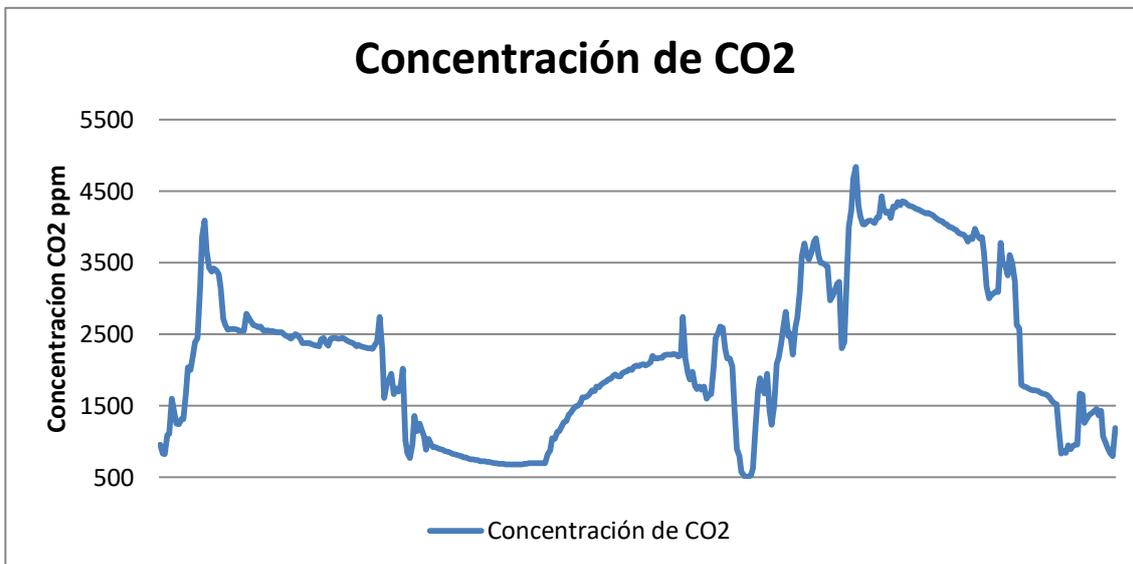


Figura 8.31 Gráfica de la concentración de CO2 (Fuente: Eduard Muñoz)

Si prestamos atención al gráfico, se muestran signos de preocupación ya que en los 3 días de medición se estuvo prácticamente siempre por encima de las 800ppm que se han establecido como límite, en muchos casos alcanzando valores superiores a los 4500ppm lo que ya supone un riesgo para la salud de los inquilinos.

Para tomar consciencia de la magnitud de los valores, en la siguiente tabla se especifican los valores máximos por día y sus horas correspondientes.

Días	Concentración máxima	Hora
19/03/21	4085 ppm	21:20:25
20/03/21	2448 ppm	00:40:25
21/03/21	4346 ppm	16:30:25
22/03/21	3086 ppm	13:20:25

Figura 8.32 Tabla de concentraciones máximas de CO2 (Fuente: Eduard Muñoz)

- **Sensor de temperatura superficial**

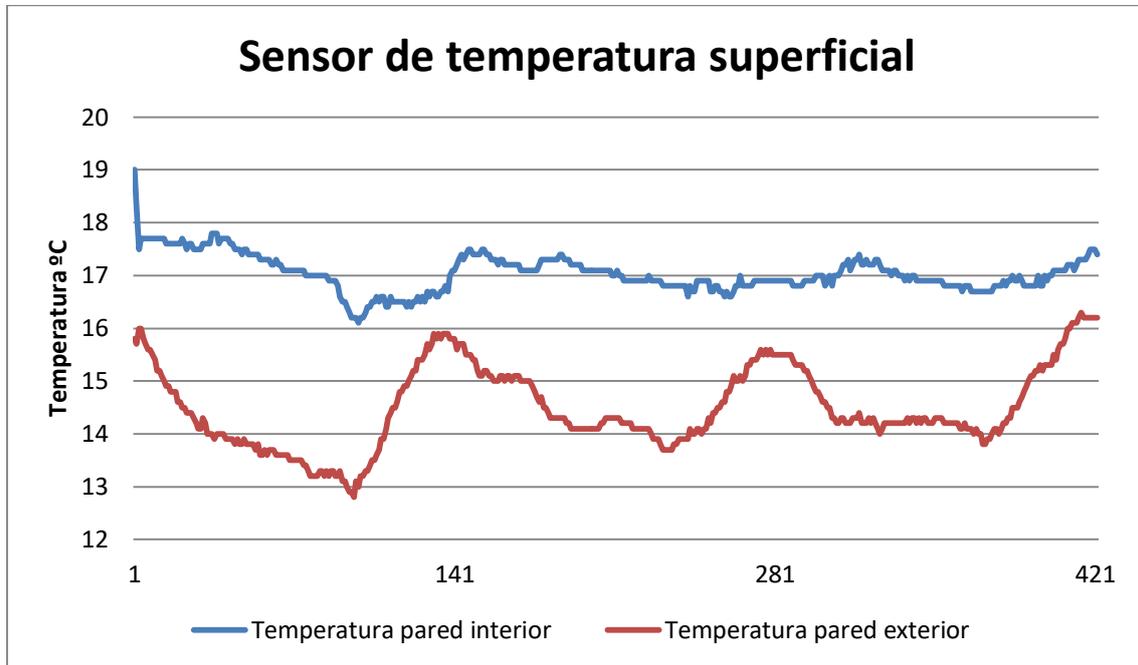


Figura 8.33 Gráfica del sensor de temperatura superficial (Fuente: Eduard Muñoz)

Si analizamos el conjunto temperaturas superficiales, llama la atención que pesar de que se trata de un edificio viejo, a nivel de aislamiento podemos considerar que es efectivo ya que en momentos donde la temperatura exterior de la pared es de unos 13°C en el interior es capaz de mantener la temperatura en 3°C por encima alcanzando unos 16°C. Hay que destacar que en general la temperatura de la pared interior es relativamente baja a pesar de ser considerablemente más alta respecto la cara exterior.

- **Sonómetro**

En el caso de las mediciones registradas mediante el sonómetro se ha querido estimar el valor promedio de cada día para analizar si se superan los 55dB-60dB a partir de los cuales se considera que el ruido ya puede ocasionar alteraciones de sueño y comunicación.

Días	Ruido promedio
19/03/21	62,45 dB
20/03/21	45,23 dB
21/03/21	56,30 dB
22/03/21	52 dB

Figura 8.34 Valores de sonido máximo registrados (Fuente: Eduard Muñoz)

### 8.1.4. Peu de la creu,32

En este piso ubicado en el barrio del Raval los sensores registraron valores desde el día 12/03/2021 al 15/03/2021.

- **Termohigrometro A1**

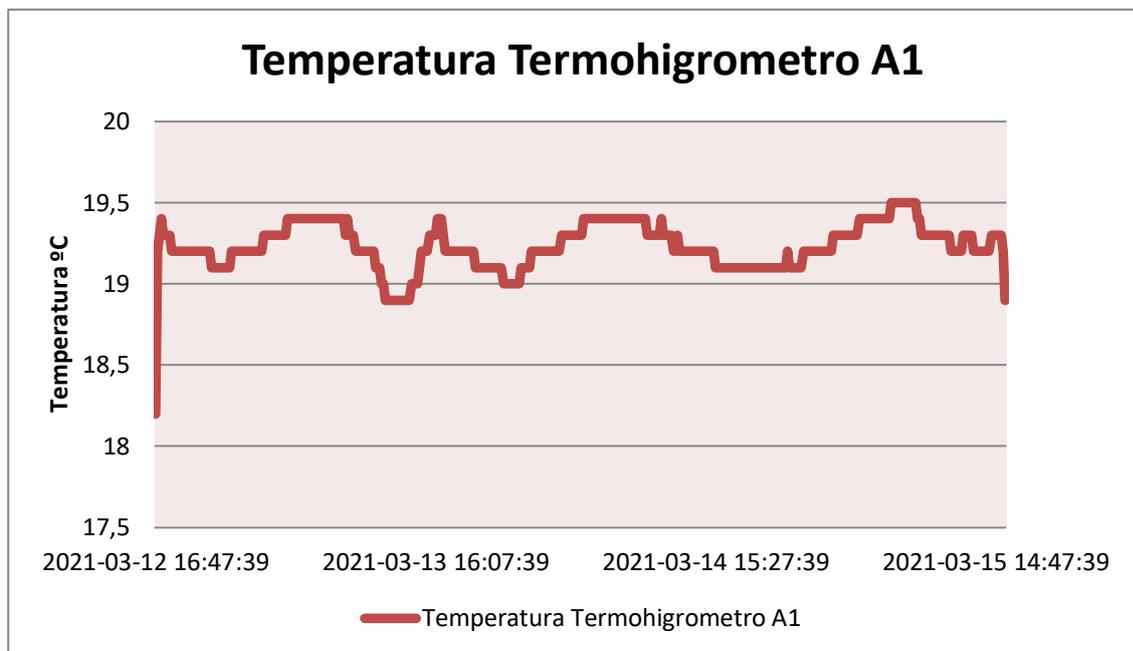


Figura 8.35 Temperatura Termohigrómetro A1 (Fuente: Eduard Muñoz)

Si observamos la gráfica de temperatura registrada por el sensor Termohigrometro A1 en el dormitorio principal, vemos que una vez que el sensor se estabiliza, la temperatura se encuentra prácticamente siempre entre los valores 19°C y 19,5°C, resulta muy interesante observar como en el dormitorio la temperatura la desviación de temperaturas durante los 4 días de medición no supera los 0,5°C. Esto nos lleva a pensar que posiblemente esta habitación esté muy bien aislada ya que su temperatura interior se mantiene prácticamente constante sea en horas de día o de noche.

A continuación se muestra la tabla donde se registran los valores máximos y mínimos de cada día:

Días	Máximo/Mínimo	Temperatura °C	Hora
12/03/21	Máx.	19,4	17:17:39
	Mín.	19,1	21:17:39
13/03/21	Máx.	19,4	08:07:39
	Mín.	19	11:37:39
14/03/21	Máx.	19,4	04:37:39
	Mín.	19,1	15:27:39
15/03/21	Máx.	19,5	06:07:39
	Mín.	18,9	15:37:39

Figura 8.36 Tabla de máximos y mínimos (Fuente: Eduard Muñoz)

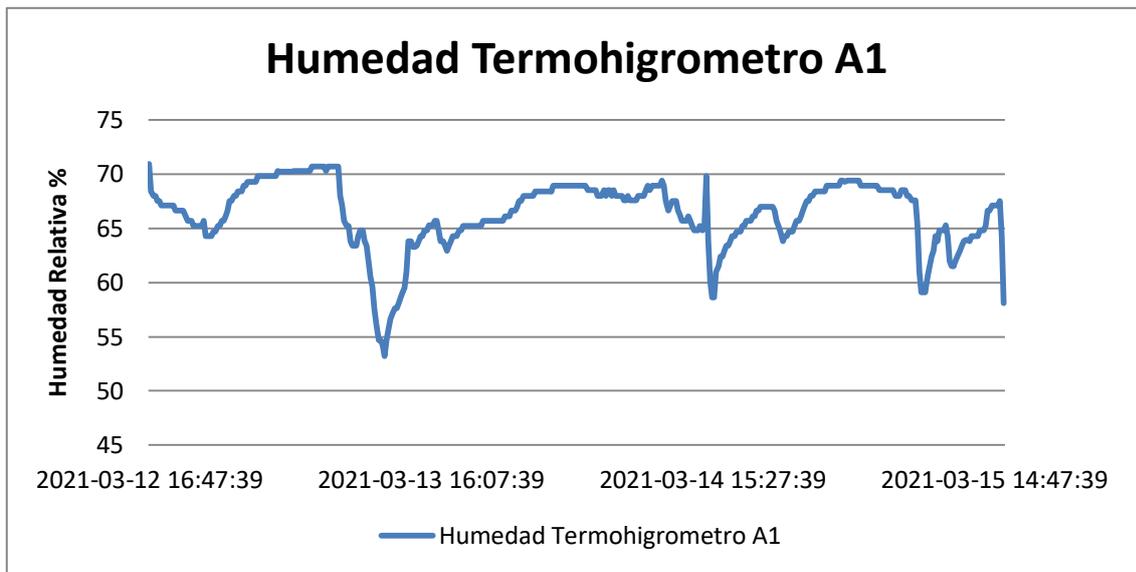


Figura 8.37 Humedad Termohigrómetro A1 (Fuente: Eduard Muñoz)

Si observamos el gráfico de la humedad, lo primero que llama la atención es que siendo la misma habitación y a pesar que la temperatura se mantenía prácticamente constante, se observa que la humedad presenta más fluctuación. Observamos que los valores se encuentran entre los límites de 55% y 70%.

Mediante la tabla que tenemos a continuación se presentan los valores máximos y mínimos de la Humedad relativa en cada día, esto nos dará una idea de que valores límite se adquieren.

Días	Máximo/Mínimo	Humedad Relativa %	Hora
12/03/21	Máx.	70,9	16:47:09
	Mín.	65,1	20:37:09
13/03/21	Máx.	70,7	06:37:09
	Mín.	53,2	12:17:39
14/03/21	Máx.	68,9	02:27:09
	Mín.	60,1	15:17:39
15/03/21	Máx.	69,4	02:57:09
	Mín.	59,1	08:57:09

Figura 8.38 Tabla de máximos y mínimos (Fuente: Eduard Muñoz)

- Termohigrometro A2

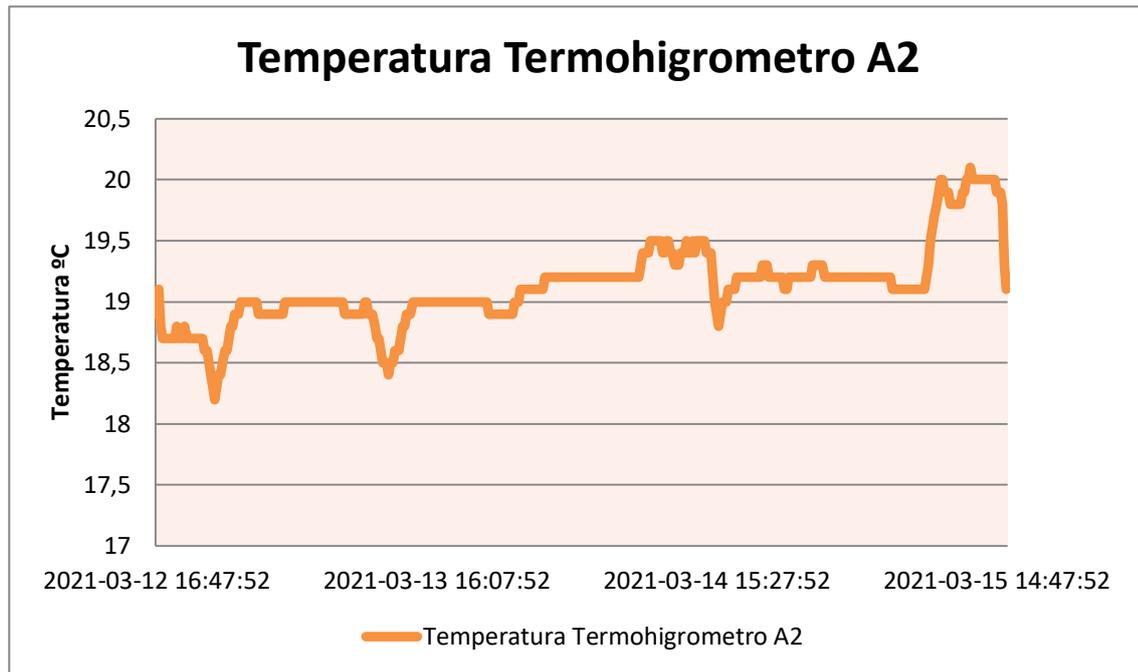


Figura 8.39 Temperatura Termohigrómetro A2 (Fuente: Eduard Muñoz)

En el caso de la temperatura registrada por el Termohigrometro A2 en el dormitorio auxiliar, se observa un patrón de comportamiento similar al visto en el dormitorio principal. Si bien es cierto que en el dormitorio auxiliar la desviación de la temperatura es mayor, hemos de considerar que todo el rango de temperaturas está comprendido entre los 18°C y 20°C lo cual si lo comparamos con otros pisos, vemos que en este caso la temperatura también se mantiene sumamente constante con solo una desviación de 2°C.

A continuación se muestra la tabla donde se registran los valores máximos y mínimos de cada día:

Días	Máximo/Mínimo	Temperatura °C	Hora
12/03/21	Máx.	19	23:57:52
	Mín.	18,2	21:37:52
13/03/21	Máx.	19,1	23:37:52
	Mín.	18,4	12:07:52
14/03/21	Máx.	19,5	10:47:52
	Mín.	18,8	15:37:52
15/03/21	Máx.	20,1	12:37:52
	Mín.	19,1	07:17:52

Figura 8.40 Tabla de máximos y mínimos (Fuente: Eduard Muñoz)

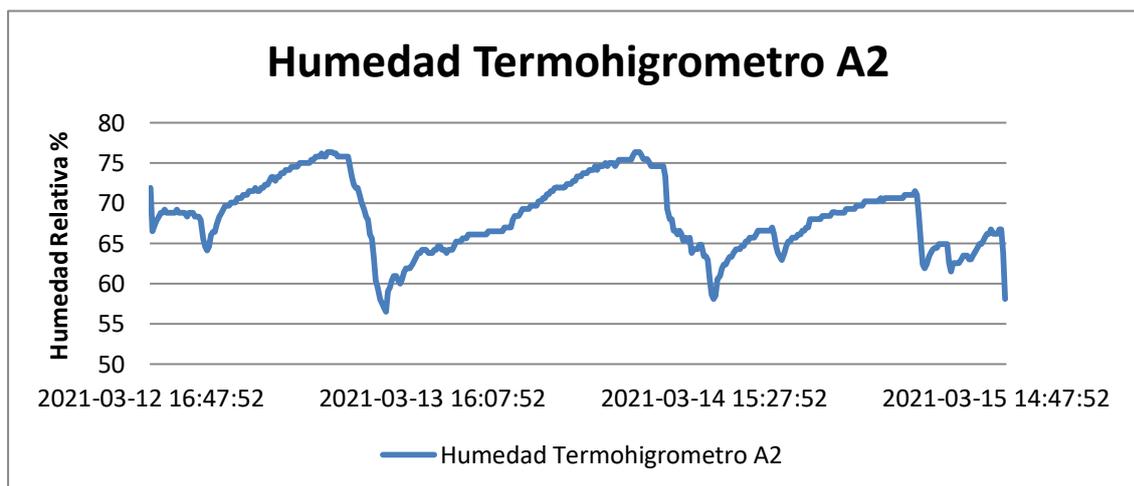


Figura 8.41 Humedad Termohigrómetro A2 (Fuente: Eduard Muñoz)

Lo más interesante de este gráfico referente a la Humedad Relativa es que podemos llegar a observar un patrón de comportamiento donde el patrón de picos y valles se va repitiendo durante los días. Resulta más interesante aun si la variable medida es la Humedad ya que esta variable no suele comportarse con ningún patrón en específico y más un patrón tan claro como el que se observa en el gráfico.

A continuación se muestra la tabla donde se registran los valores máximos y mínimos de cada día:

Días	Máximo/Mínimo	Humedad Relativa %	Hora
12/03/21	Máx.	70,6	23:57:52
	Mín.	64,1	21:27:52
13/03/21	Máx.	76,3	07:27:52
	Mín.	56,5	12:17:52
14/03/21	Máx.	76,3	09:17:52
	Mín.	58,1	15:27:52
15/03/21	Máx.	71,5	08:07:52
	Mín.	58,1	15:37:52

Figura 8.42 Temperatura Termohigrómetro A1 (Fuente: Eduard Muñoz)

- **Sensor de calidad de aire**

A pesar de que el sensor se colocó correctamente en la vivienda, el conjunto de datos referentes al periodo de medición del 12/03/2021 al 15/03/2021 esta corrompido y ha resultado imposible recuperar ese conjunto de datos para el posterior estudio.

Es por ese motivo que en este piso no se podrá estudiar la ventilación ni el comportamiento de las concentraciones de CO<sub>2</sub>

- **Sensor de temperatura superficial**

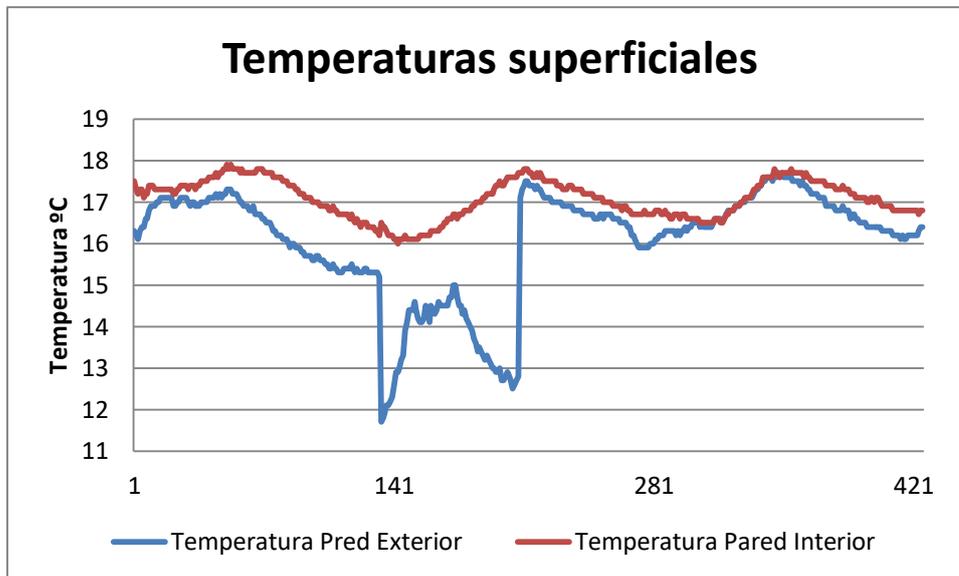


Figura 8.43 Temperatura de sensor superficial (Fuente: Eduard Muñoz)

Si observamos la gráfica, lo primero que llama sumamente la atención es el comportamiento tan anómalo de la temperatura de la pared exterior que se registra durante un intervalo de tiempo. Si observamos llega un momento donde la temperatura exterior cae drásticamente y en el intervalo final de tiempo la temperatura crece drásticamente. Este comportamiento tan anómalo de la temperatura nos lleva a pensar que no se trata de un comportamiento con sentido físico ya que la temperatura no puede aumentar o descender de una forma tan drástica en un periodo de tiempo tan concreto.

Este comportamientos nos lleva a plantear una hipótesis donde posiblemente este termopar se despegase de la pared y de ahí el comportamiento anómalo y posteriormente uno de los inquilinos los viese despegado de la pared y lo volviese a pegar y de ahí que posteriormente recuperase un comportamiento normal.

Si obviamos el periodo de tiempo donde se produce ese comportamiento anómalo, observamos que en general la temperatura de la cara exterior se asemeja a la temperatura de la cara interior de la pared.

- **Sonómetro**

En el caso de las mediciones registradas mediante el sonómetro se ha querido estimar el valor promedio de cada día para analizar si se superan los 55dB-60dB a partir de los cuales se considera que el ruido ya puede ocasionar alteraciones de sueño y comunicación.

Días	Ruido promedio
12/03/21	70,34dB
13/03/21	55,30dB
14/03/21	75,22dB
15/03/21	72,45 dB

**Figura 8.44** Valores de sonido máximo registrados (Fuente: Eduard Muñoz)

- **Sensor de flujo de calor**

A partir de los datos obtenidos mediante el sensor de flujo de calor se ha decidido calcular la resistencia térmica mediante la siguiente ecuación:

$$R_T = \frac{\Delta T}{\dot{Q}} \quad (\text{Eq.8.1})$$

Donde  $\Delta T$ = diferencia de temperaturas de las dos caras de la pared siendo en nuestro caso de 2 °C y  $\dot{Q}$ = flujo de calor que en el momento de esa diferencia de temperatura era de 734,346 W/m<sup>2</sup> :

$$R_T = \frac{\Delta T}{\dot{Q}} = \frac{18 - 16}{734,356} = 0,00272 \frac{m^2 K}{W}$$

## 8.2. Resultados estadísticos

En los resultados estadísticos se realizará un estudio comparativo entre la serie de variables que se han trabajado en el método estadístico explicado anteriormente.

El objetivo principal se centrará en relacionar todas las variables térmicas entre ellas y relacionarlas respecto la variable consumo que se ha establecido como variable de referencia, con la finalidad de observar cómo se comporta el consumo eléctrico en función de las condiciones climáticas del piso en ese momento.

En el estudio comparativo no se han incluido todos los pisos ya que algunos ha sido imposible por falta de tiempo obtener los datos referentes al consumo.

Se ha realizado un estudio comparativo entre el piso de Parellada 9, catalogado como piso de eficiencia térmica A respecto el piso de Junta del Comerç,<sup>14</sup> el cual se trata de un piso con más de un siglo de antigüedad. Este estudio nos puede arrojar un poco de luz de como de distinto se comporta un piso del Raval con necesidades económicas respecto un piso nuevo de eficiencia térmica A donde tal y como indica su nombre es la edificación con mayor eficiencia en lo que se refiere a condiciones térmicas y de aislamiento.

Esta comparativa entre los dos pisos nos permitirá tomar conciencia del comportamiento térmico que tiene un piso nuevo y un piso con más de 100 años.

En el caso de comparar dos variables que tengan la misma unidad de medida se realizarán mediante los datos sin escalar ya que esas dos variables estarán referenciadas sobre la misma escala. En el caso de por ejemplo comparar variables de diferente escala como por ejemplo el consumo eléctrico respecto la sensación térmica o la temperatura, se realizará mediante los datos escalados para así poder observar las variables con el mismo fondo de escala.

Lo primero que queremos observar es la relación que existe entre la sensación térmica interior del piso, es decir cuánto frío o calor percibimos cuando estamos dentro, respecto el consumo eléctrico. Esta comparativa nos indicará si por ejemplo en momentos donde la sensación térmica era menor, es decir la sensación de frío aumentaba si en esos momentos el consumo presento un crecimiento o no ya que este crecimiento del consumo eléctrico nos estaría indicando que en ese momento se encendió la calefacción para poder aumentar la sensación térmica percibida.

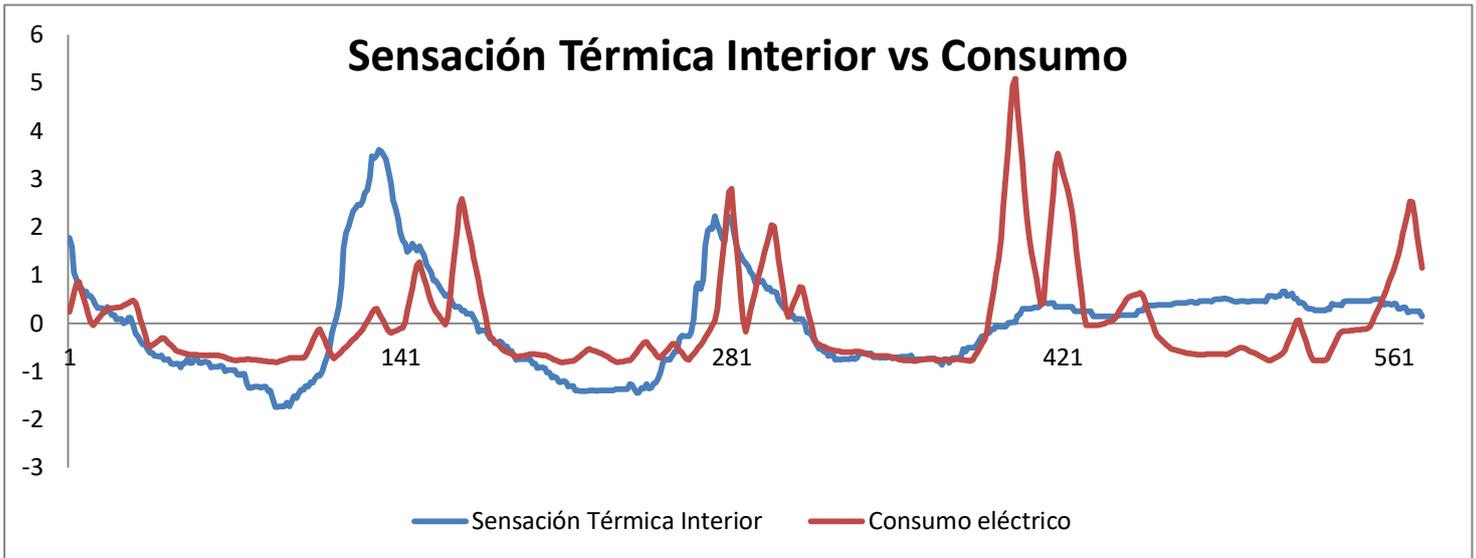


Figura 8.45 Comparativa Junta del Comerç (Fuente: Eduard Muñoz)

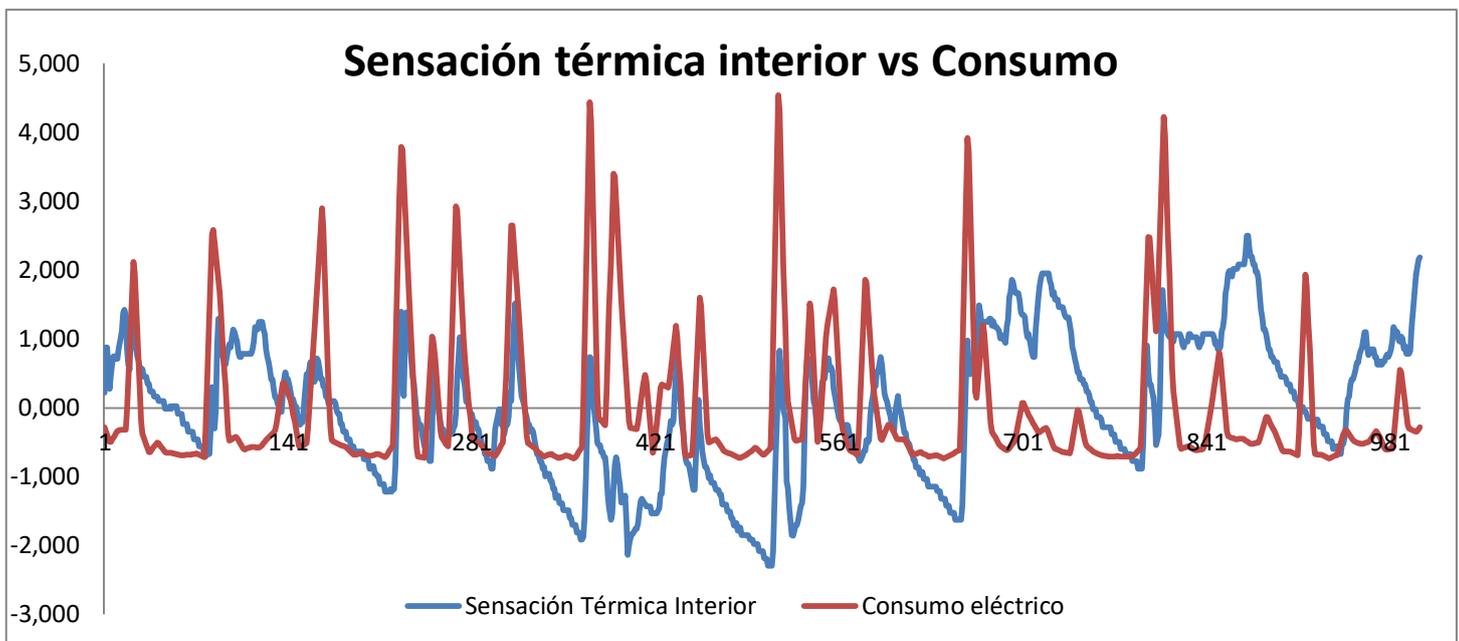


Figura 8.46 Comparativa Parellada (Fuente: Eduard Muñoz)

Tal y como podemos observar lo que llama más la atención es la comparativa del piso de Parellada, ya que la comparativa entre la sensación térmica interior y el consumo nos confirma que se trata de un piso de eficiencia térmica A. Si observamos, cada vez que se registran valores muy pequeños de sensación térmica, es decir la percepción del frío aumenta, automáticamente con un tiempo de demora muy reducido, el consumo eléctrico crece considerablemente. Si observamos la franja de tiempo posterior a este crecimiento del consumo, vemos como la sensación térmica empieza a aumentar considerablemente. Esto nos indica que este crecimiento del consumo ha sido debido al encendido de la calefacción.

Por el contrario, si observamos el piso Junta del Comerç ubicado en el raval vemos que este patrón de comportamiento no es tan claro ya que en momentos donde la sensación térmica era bajada, el crecimiento del consumo no ha sido tan inmediato. A pesar de ello también se

observa periodos de tiempo donde el consumo ha crecido considerablemente posteriormente a registros de sensación térmica bajos.

Estas dos gráficas son sumamente importantes ya que de una forma empírica mediante el registro de datos estamos observando claramente cómo se produjo un crecimiento del consumo eléctrico debido a la sensación de frío en el piso.

Posteriormente al estudio de cómo se comporta el consumo en función de la sensación térmica, se va a evaluar qué relación existe entre la sensación térmica interior dentro del piso respecto la sensación térmica exterior en la calle que se registraba en ese momento.

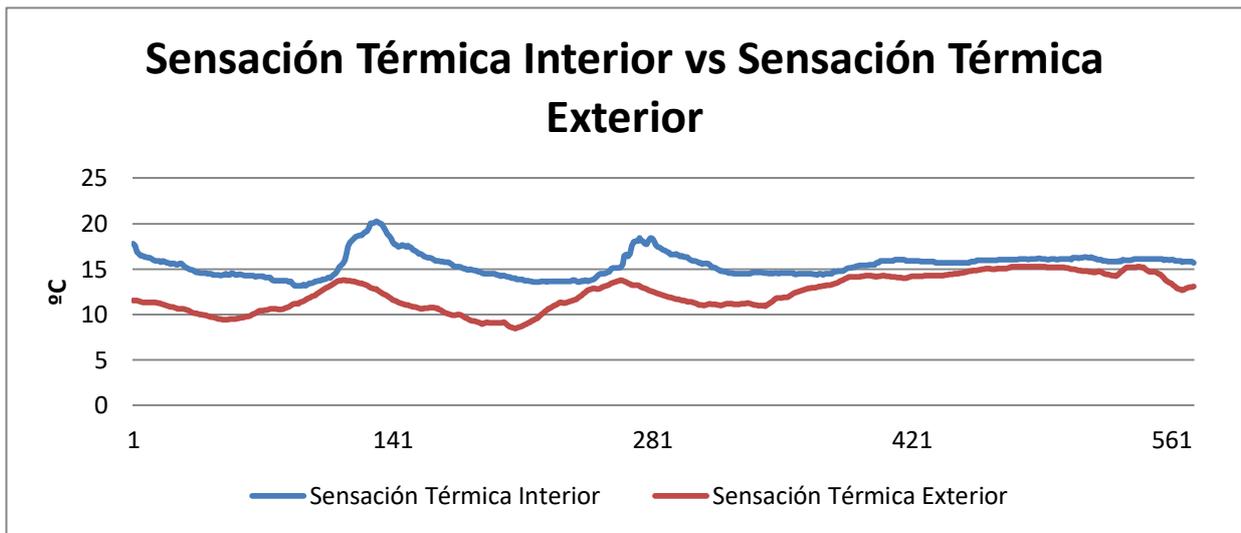


Figura 8. 47 Comparativa Junta del Comerç (Fuente: Eduard Muñoz)

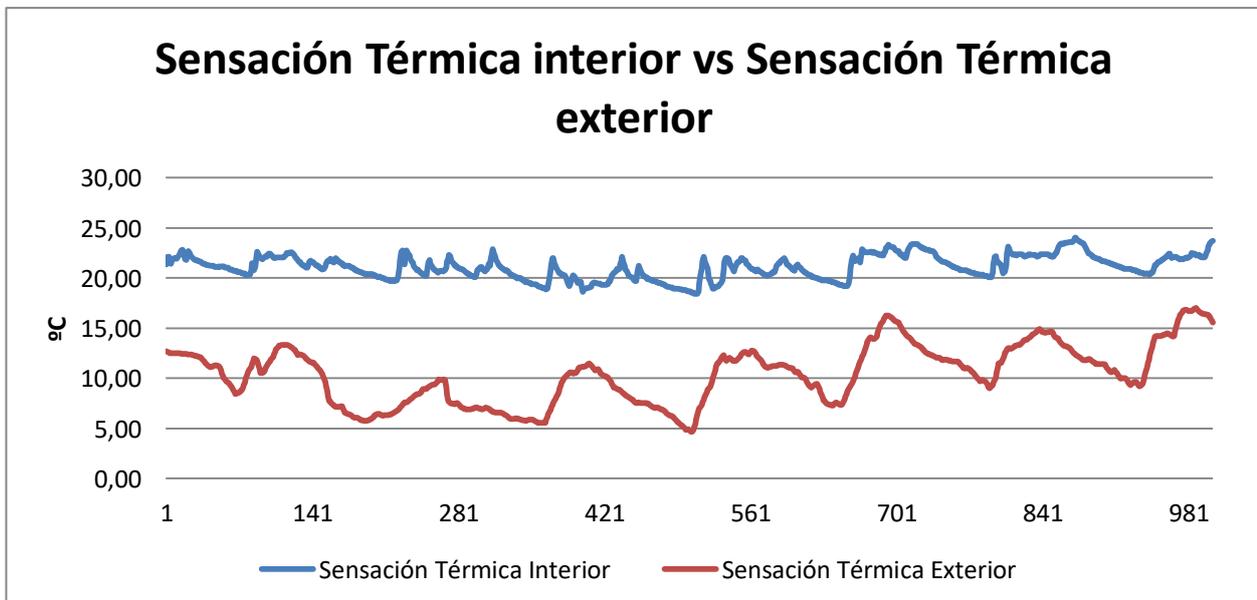


Figura 8.48 Comparativa Parellada (Fuente: Eduard Muñoz)

Si observamos las dos gráficas nos damos cuenta que en el piso de eficiencia térmica A, mientras la sensación térmica en el exterior es de 13°C llegando a sensaciones térmicas de 5°C en el interior la sensación térmica se mantiene siempre entre los valores de 20°C y 25°C lo que nos indica que se encuentra en temperaturas de confort. Es muy interesante el observar como en algunos momentos se ha registrado una diferencia de sensación térmica de hasta 10°C entre el interior del piso y el exterior.

Por el contrario, si lo comparamos con el piso del Raval, vemos que en este caso las sensaciones térmicas interiores y exteriores son más parejas. Esto nos indica que la sensación de frío en el interior de la vivienda es mayor ya que está más expuesta a la sensación térmica exterior. También hay que destacar que en momentos donde la sensación térmica interior ha sido más alta prácticamente no ha llegado a superar los 20°C lo que indica que en la mayoría de tiempo se ha notado más la percepción de frío respecto el piso de eficiencia térmica A.

También es interesante observar la relación que existe entre la temperatura interior medida y la sensación térmica.

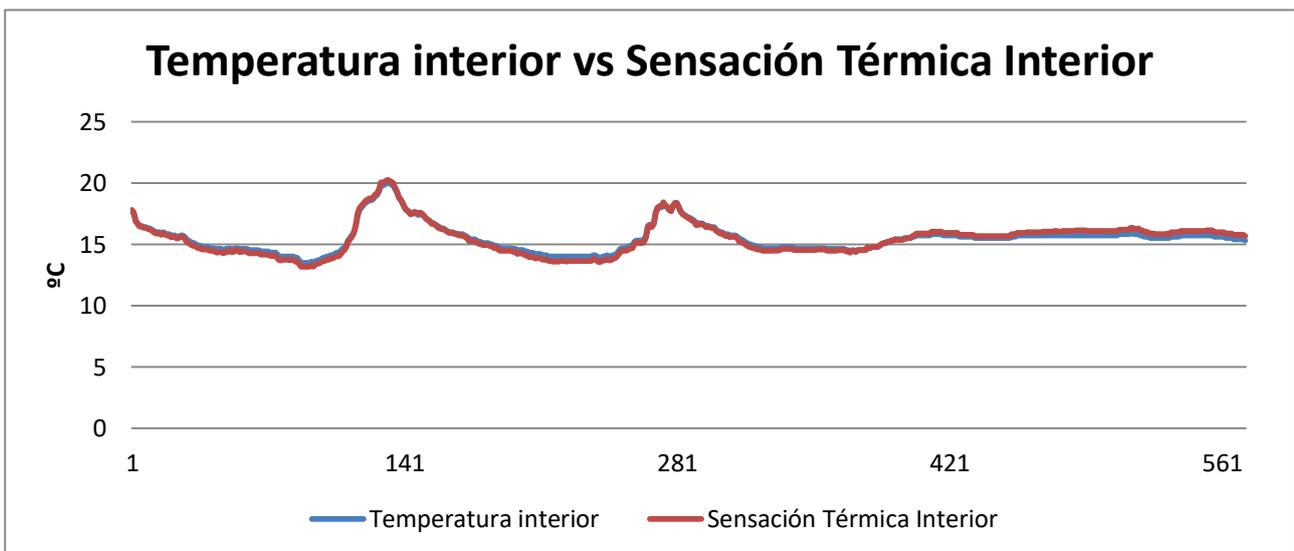


Figura 8.49 Comparativa Junta del Comerç (Fuente: Eduard Muñoz)

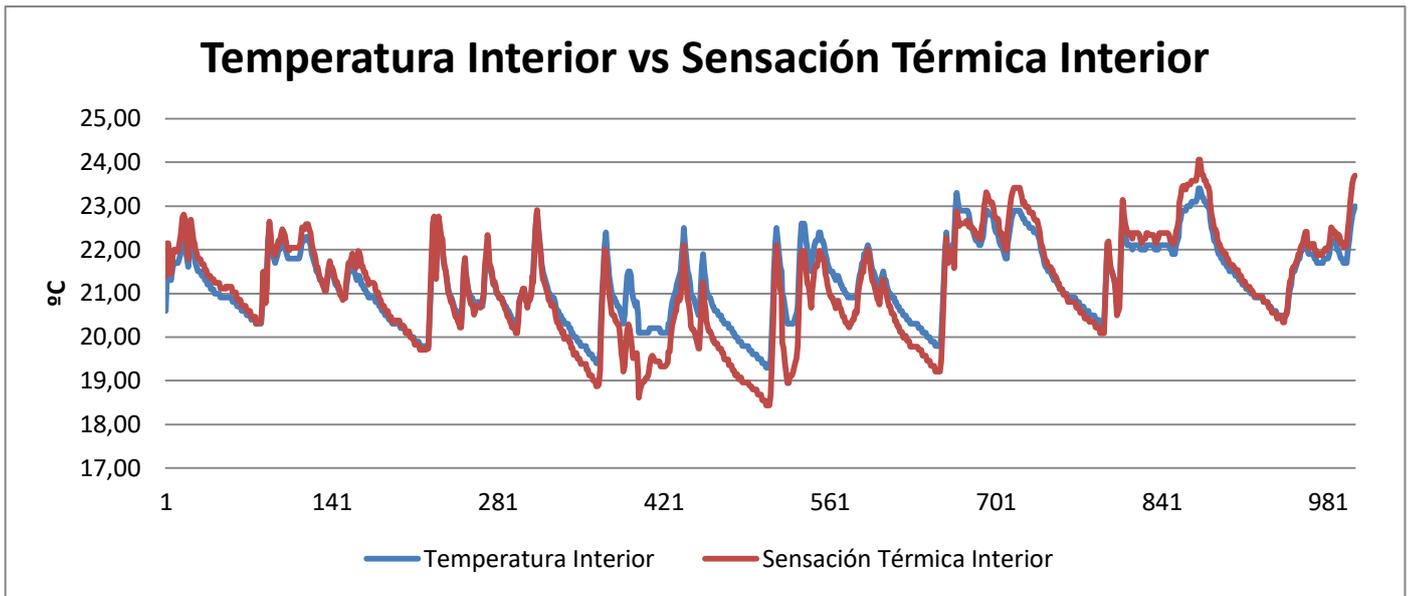


Figura 8.50 Comparativa Parellada (Fuente: Eduard Muñoz)

Si observamos las dos gráficas, lo primero que podemos concluir es la confirmación del comportamiento de la sensación térmica respecto la temperatura que habíamos observado en la programación, donde se vio que la temperatura y la sensación térmica eran linealmente dependientes.

En los puntos donde la temperatura es ligeramente mayor a la sensación térmica es debido a la interacción de la humedad. La humedad en periodos invernales produce un descenso de la sensación térmica respecto el valor de temperatura.

Confirmamos también que las temperaturas medias en el piso del Raval son más reducidas que en el piso de eficiencia térmica A.

A consecuencia de observar anteriormente la interacción que tiene la humedad en la sensación térmica, también se ha realizado un estudio comparativo para analizar el comportamiento de la humedad en el interior del piso y en el exterior.

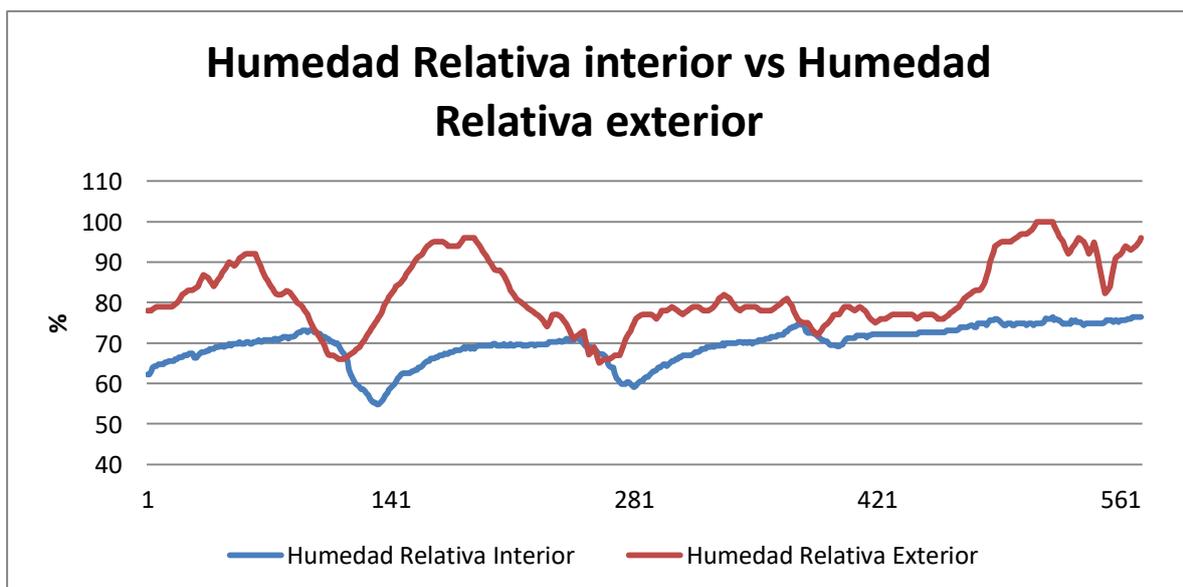


Figura 8.51 Comparativa Junta del Comerç (Fuente: Eduard Muñoz)

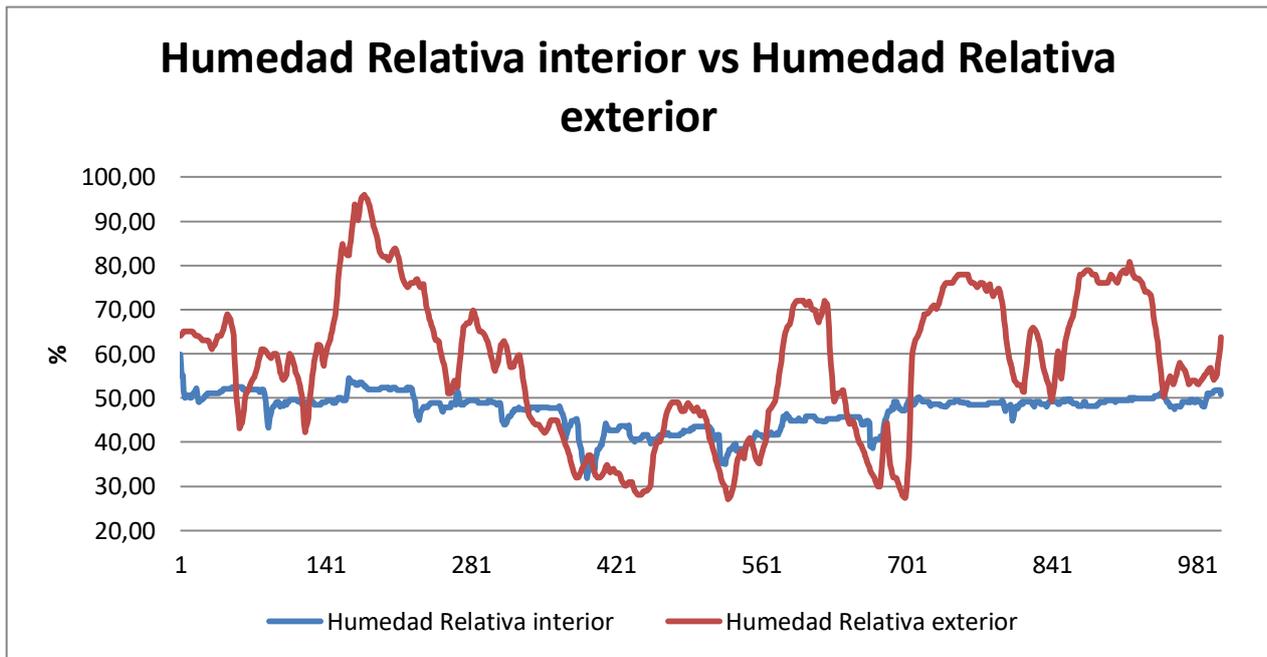


Figura 8.52 Comparativa Parellada (Fuente: Eduard Muñoz)

Las dos gráficas referentes a la comparativa de las humedades suponen un hallazgo impresionante ya que podemos observar en el caso del piso de eficiencia térmica A como su capacidad de aislamiento es capaz de reducir hasta en un 40%-30% la diferencia entre la humedad relativa interior y exterior. En periodos de tiempo donde se registraba una Humedad Relativa exterior cercana al 90%, en el interior de la vivienda se registraban valores del 50% de humedad. Esto supone que la sensación térmica interior no se vea reducida tan considerablemente debida al factor de la humedad.

Si lo comparamos con el piso del Raval vemos que la Humedad Relativa interior está más sujeta al comportamiento de la humedad relativa exterior. Si bien es cierto que en muchos casos la humedad en el interior del piso es de alrededor de un 20% menos que la del exterior, en otros periodos de tiempo se observa como la humedad relativa interior y exterior son más parejas.

Por último se ha querido realizar un estudio comparativo entre la temperatura registrada a nivel superficial del interior de la pared respecto la temperatura exterior en ese momento con el objetivo de evaluar la capacidad de aislamiento térmico que tiene la pared.

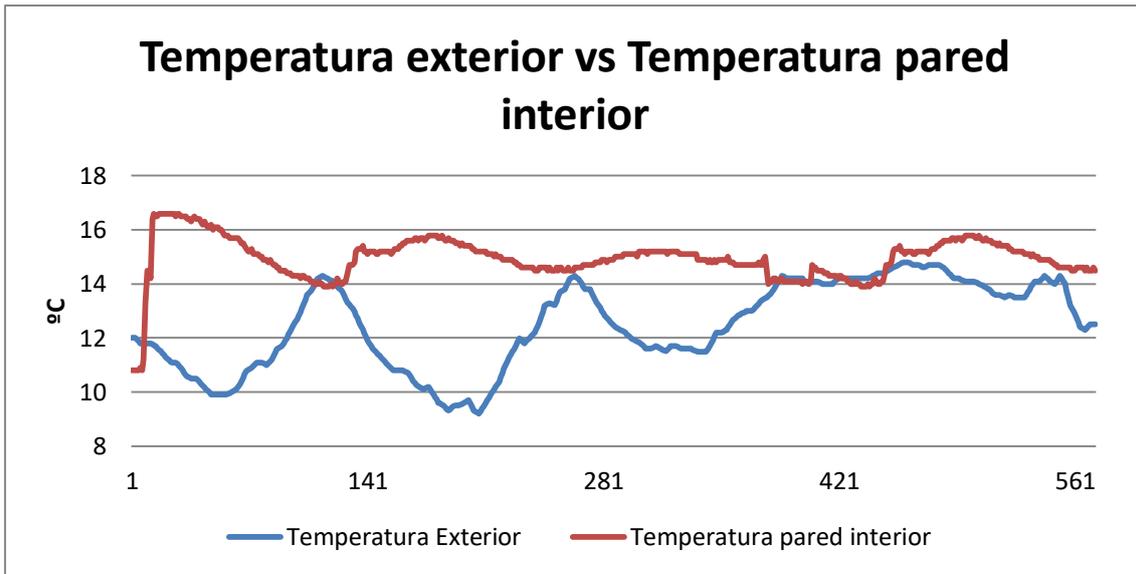


Figura 8.53 Comparativa Junta del Comerç (Fuente: Eduard Muñoz)

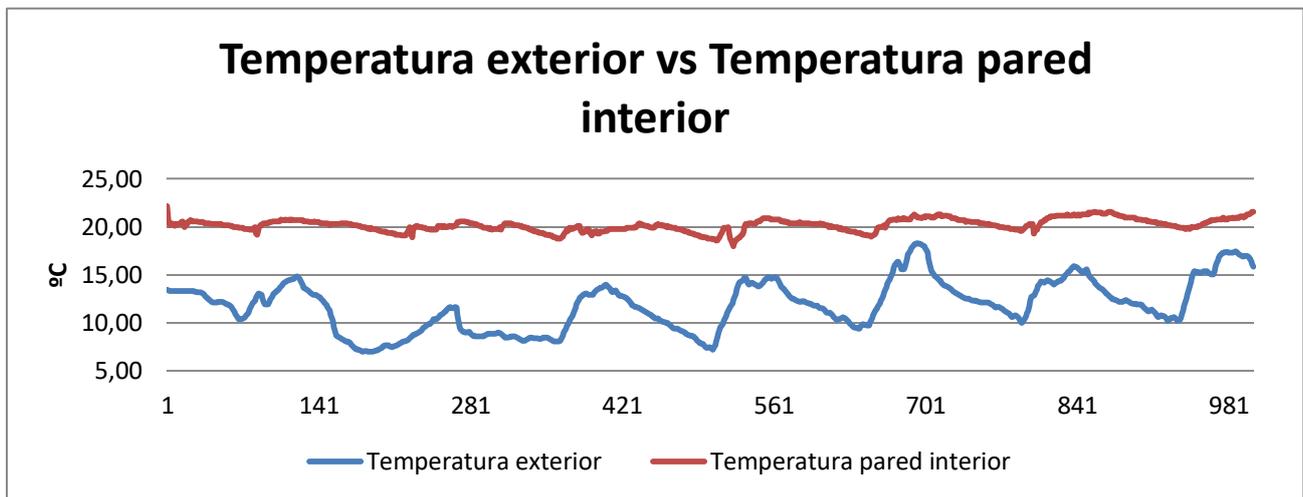


Figura 8.54 Comparativa Parellada (Fuente: Eduard Muñoz)

Lo primero que observamos es la gran capacidad de aislante que tiene la pared del piso de eficiencia térmica A ya que durante todo el intervalo de medición la diferencia de temperatura de la cara interior de la pared respecto la temperatura exterior se encuentra en intervalos de 10°C a 5°C superiores y esa relación se va manteniendo durante toda la medición.

Por el contrario, en el piso ubicado en el Raval, si bien es cierto que en algunos casos la temperatura de la cara interior de la pared es de hasta 5°C respecto la temperatura exterior, en otros periodos de tiempo se da el caso que la temperatura exterior llega a ser un poco superior o prácticamente la misma que la cara interior de la pared. Esto denota que la capacidad de aislamiento de la pared del Raval es considerablemente inferior a la del piso de eficiencia térmica A.

Una vez analizadas las variables de forma gráfica, nos disponemos a realizar un estudio de las variables de forma independiente. Analizando por ejemplo la media, la moda, la mediana, los cuartiles y posibles máximos y mínimos mediante el software Rstudio.

Para el piso ubicado en la calle Parellada,9 podemos obtener mediante la función **summary()** explicada anteriormente los siguientes datos:

No.	Time	Temperature	Humidity	PresionR	
Length:1004	Min. :2021-03-17 18:16:44	Min. :19.30	Min. :31.80	Min. : 7.955	
Class :character	1st Qu.:2021-03-19 12:04:14	1st Qu.:20.60	1st Qu.:44.90	1st Qu.:10.995	
Mode :character	Median :2021-03-21 05:51:44	Median :21.20	Median :48.50	Median :12.178	
	Mean :2021-03-21 05:51:44	Mean :21.24	Mean :47.13	Mean :11.884	
	3rd Qu.:2021-03-22 23:39:14	3rd Qu.:21.90	3rd Qu.:49.50	3rd Qu.:12.824	
	Max. :2021-03-24 17:26:44	Max. :23.40	Max. :59.80	Max. :14.473	
SensacionTermica	Consumo_est	TempMedia_est	HumRel_est	TempTecho	TempPared
Min. :18.43	Min. : 57.03	Min. : 7.000	Min. :27.06	Min. :17.50	Min. :18.00
1st Qu.:20.34	1st Qu.: 97.68	1st Qu.: 9.836	1st Qu.:45.00	1st Qu.:19.00	1st Qu.:19.80
Median :21.11	Median :171.36	Median :12.000	Median :58.25	Median :19.70	Median :20.20
Mean :21.13	Mean : 356.25	Mean :11.859	Mean :57.66	Mean :19.64	Mean :20.21
3rd Qu.:22.05	3rd Qu.: 444.61	3rd Qu.:13.626	3rd Qu.:70.53	3rd Qu.:20.30	3rd Qu.:20.60
Max. :24.06	Max. :2204.90	Max. :18.294	Max. :95.94	Max. :21.40	Max. :22.20

Figura 8.55 Resultado del summary del piso de Parellada (Fuente: Eduard Muñoz)

Mediante esta función el software nos muestra todo el conjunto de herramientas de estudio estadístico de cada variable.

Mediante esta función podemos por ejemplo observar cual ha sido el máximo y el mínimo registrados de cada variable en el periodo de medición.

En el caso de la temperatura interior observamos que el máximo absoluto es de 23,40°C y el mínimo absoluto es de 19°C. Por el contrario observamos que el máximo absoluto registrado en la temperatura exterior es de 10,294°C y el mínimo absoluto de 7°C. También podemos observar la mediana, el primer y tercer cuartil de cada variable etc.

Para el piso ubicado en la calle Junta del Comerç,14 en el barrio del Raval y mediante la función **summary()** se han obtenido los siguientes datos:

No.	Time	Temperature	Humidity	Presion	
Length:573	Min. :2021-02-18 18:24:07	Min. :13.50	Min. :54.80	Min. :11.06	
Class :character	1st Qu.:2021-02-19 18:14:07	1st Qu.:14.70	1st Qu.:67.40	1st Qu.:11.58	
Mode :character	Median :2021-02-20 18:04:07	Median :15.50	Median :70.20	Median :12.00	
	Mean :2021-02-20 18:04:07	Mean :15.47	Mean :69.57	Mean :12.19	
	3rd Qu.:2021-02-21 17:54:07	3rd Qu.:15.70	3rd Qu.:72.60	3rd Qu.:12.77	
	Max. :2021-02-22 17:44:07	Max. :20.00	Max. :76.40	Max. :13.63	
SensacionTermica	Consumo_est	TempMedia_est	HumRel_est	ParedInt	Techo
Min. :13.16	Min. : 61.55	Min. : 9.203	Min. : 65.12	Min. :10.80	Min. : 0.00
1st Qu.:14.48	1st Qu.: 93.00	1st Qu.:11.373	1st Qu.: 76.70	1st Qu.:14.60	1st Qu.:14.50
Median :15.67	Median :142.94	Median :12.588	Median : 79.00	Median :15.00	Median :14.90
Mean :15.47	Mean : 235.45	Mean :12.499	Mean : 81.90	Mean :14.95	Mean :14.57
3rd Qu.:16.08	3rd Qu.: 302.22	3rd Qu.:14.039	3rd Qu.: 89.18	3rd Qu.:15.40	3rd Qu.:15.20
Max. :20.24	Max. :1321.23	Max. :14.800	Max. :100.00	Max. :16.60	Max. :16.40
ParedExt					
Min. :11.1					
1st Qu.:13.1					
Median :13.9					
Mean :14.3					
3rd Qu.:14.8					
Max. :24.1					

Figura 8.56 Resultado del summary del piso de Junta del Comerç (Fuente: Eduard Muñoz)

En el caso de Junta del Comerç observamos que para la temperatura interior de la vivienda el máximo absoluto es de 20°C y el mínimo absoluto es de 13,50°C. Por el contrario observamos que el máximo absoluto registrado en la temperatura exterior es de 14,8°C y el mínimo absoluto de 9,203°C.

Por último hemos de valorar la correlación de las variables mediante el indicativo P-valor. Mediante la programación se ha especificado que se ha de correlacionar todas las variables

respecto la variable consumo considerado como variable base. Un P-valor de prácticamente 0 nos indicará que la correlación de esa variable respecto la variable consumo es sumamente elevada.

Para el piso ubicado en Junta del Comerç adquirimos los siguientes resultados:

```

                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    4.708e-15  4.145e-02  0.000 1.000000
Temperature   -8.319e+00  1.401e+00 -5.937 5.76e-09 ***
Humidity       -7.841e+00  1.293e+00 -6.063 2.81e-09 ***
Presion        7.192e+00  1.103e+00  6.518 1.89e-10 ***
SensacionTermica NA          NA          NA          NA
TempMedia_est -3.583e-01  1.358e-01 -2.638 0.008617 **
HumRel_est    -3.651e-01  1.092e-01 -3.342 0.000899 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.8891 on 454 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2181,    Adjusted R-squared:  0.2095
F-statistic: 25.33 on 5 and 454 DF,  p-value: < 2.2e-16
    
```

Figura 8.57 Correlación Junta del Comerç (Fuente: Eduard Muñoz)

Si observamos la última columna vemos que los valores son del orden de e-10, esto lo podemos considerar como un 0 de máquina. Podemos observar como las variables de temperatura interior, humedad y presión de vapor están fuertemente relacionadas con el consumo. Estos resultados ya tienen sentido ya que el programa nos está diciendo que las variables registradas en el interior de la vivienda están relacionadas con el consumo eléctrico de la vivienda.

Para el caso de la temperatura y humedades exteriores observamos que no están tan correlacionadas con el consumo como si lo están las variables del interior de la vivienda. También observamos como el  $R^2 = 0,2181$ .

Para el piso de eficiencia térmica A ubicado en Perallada,9 adquirimos los siguientes resultados:

```

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   -3.251e-16  2.564e-02  0.000 1
Temperature    2.119e+00  3.031e-01  6.991 5.78e-12 ***
Humidity        2.987e+00  4.799e-01  6.225 7.80e-10 ***
PresionR       -3.711e+00  5.790e-01 -6.410 2.49e-10 ***
SensacionTermica NA          NA          NA          NA
TempMedia_est -6.037e-01  4.892e-02 -12.341 < 2e-16 ***
HumRel_est    -4.161e-01  4.520e-02 -9.206 < 2e-16 ***
TempTecho     1.342e+00  7.926e-02  16.936 < 2e-16 ***
TempPared     -8.450e-01  6.074e-02 -13.911 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.727 on 796 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4761,    Adjusted R-squared:  0.4715
F-statistic: 103.3 on 7 and 796 DF,  p-value: < 2.2e-16
    
```

Figura 8. 58 Correlación del piso de Parellada (Fuente: Eduard Muñoz)

En este piso de eficiencia térmica A llama la atención que en este caso todas las variables tienen correlación con la variable consumo. No solo las variables registradas en el interior del piso sino que las variables exteriores también presentan una gran correlación con la variable consumo.

Las tres estrellas a la derecha de la columna nos indican que esa variable está fuertemente correlacionada con la variable consumo.

En este caso observamos un valor  $R^2 = 0,4761$ .

La diferencia de  $R^2$  puede ser debida al hecho que la muestra de datos del piso de eficiencia térmica A es mucho mayor que la del piso ubicado en el barrio del Raval siendo de 7 y 3 días respectivamente.

El hecho de que para la Sensación Térmica no nos muestre valores es debido a que el programa reconoce la Sensación Térmica como linealmente dependiente de la variable Temperatura y por ello solo nos muestra los datos referentes a la Temperatura y no los de la Sensación Térmica.

## 9. Análisis medioambiental

Si analizamos el efecto medioambiental que ha supuesto la realización del proyecto, podemos considerar que este efecto ha sido prácticamente nulo.

La huella de carbono generada y la contaminación derivada de la realización de las mediciones podemos considerarlas despreciables ya que para la movilidad a los pisos que debían ser medidos se ha optado por la utilización de transporte público.

Si analizamos el proceso de instalación de los sensores, vemos que se trata de una instalación poco invasiva y poco compleja. Algunos de los sensores llevan pilas o baterías incorporadas con lo que no necesitan estar conectados a la red eléctrica. En el caso de los sensores que sí que deben estar conectados a la red eléctrica se considera que su contaminación medioambiental es ínfima ya que sus consumos son muy reducidos.

## 10. Conclusiones

Siguiendo el orden cronológico de la realización del proyecto, los primeros problemas que tuve que superar fueron el familiarizarme con los sensores propiamente como con su software. Decidí comenzar a instalar los sensores en mi casa para comenzar a aprender cómo se debían instalar, de que forma median y posteriormente introducir estos datos al software para tratarlos y poderlos exportar.

Esta período inicial fue bastante complicado ya que son sensores que si no los has visto o manipulado nunca aprender a cómo funcionan y tratarlos es complicado. Pero gracias a toda la información que me pasó Alfredo en relación a manuales de uso y gracias también a las explicaciones que me dio Nil, pude comenzar a entender el funcionamiento.

El primer piso donde se realizó la instalación fue Junta del Comerç 14, para este piso fui acompañado por Alfredo y por el equipo de servicios sociales de OasiUrbà. La instalación de sensores constaba de una primera visita donde iba yo junto con un miembro de servicios sociales el cual mientras yo realizaba la instalación de los sensores el realizaba unas encuestas a los inquilinos para recabar información en cuanto situación económica y personal de los inquilinos. Estos sensores se dejaban instalados durante tres días y posteriormente me personaba yo para recogerlos. El primer piso medido se registró correctamente ya que Alfredo me ayudó bastante en la instalación de los sensores.

A partir del primer piso, los siguientes realizaba la instalación de los sensores yo solo. En algunos pisos tuve problemas a la hora de medir porque aún no dominaba completamente los sensores y alguno de ellos no se encendía o no registraba datos. También hay que destacar que el hecho de que como solo se controlaban los sensores instalados en el momento de la instalación y en el momento de la recogida, se han producido caso donde por alguna razón desconocida el sensor ha dejado de medir en mitad de los días de medición.

El hecho de no poder controlar remotamente los sensores imposibilita la capacidad de detectar si un sensor a dejado de medir en un momento determinado.

La única forma de verificar la medición era cuando se realizaba el tratamiento de datos una vez recogidos los sensores. Es por ello que en algunos pisos se ha tenido que volver a realizar la instalación de sensores en otro periodo de tiempo porque no habían registrado correctamente los datos.

Una vez tuvimos toda la recopilación de datos de todos los pisos, nos dispusimos a generar el código de programación mediante el cual podríamos implementar el estudio estadístico de las variables. La generación de este código no hubiese sido posible sin la ayuda de Magda.

Quiero destacar el trabajo tan laborioso y que muchas veces no es visible respecto a toda la limpieza de datos y matrices da datos para que el software las pudiese leer. Si no se realiza toda esta limpieza y ordenación de la serie de datos, por ejemplo configurando el nombre de variables tal y como toca, dar una codificación a la serie de datos o eliminar la información no relevante.

Este trabajo de ordenación y limpieza de datos, es un trabajo que posiblemente no quede reflejado en los resultados finales, pero es un trabajo sin el cual no hubiese sido posible la realización del método estadístico.

Si nos centramos en los resultados finales, me ha sorprendido mucho por ejemplo el nivel de las sensaciones térmicas registradas en muchos de los pisos ya que denotan que en esos pisos la sensación es de frío y de poco confort. También me ha impactado los niveles de CO<sub>2</sub> registrados en alguno de los pisos ya que se han alcanzado niveles donde ya está en riesgo la salud.

En cuanto a la comparativa respecto el piso de eficiencia térmica A, me ha ayudado a tomar conciencia de la gran diferencia en cuanto a comportamiento térmico que puede tener un piso del raval en este caso de 100 años respecto un piso nuevo con todas las mejoras aislantes y térmicas implementadas. Hubiese sido interesante completar este estudio estadístico con más

pisos para valorar más comportamientos térmicos y poder establecer relaciones de los pisos según su ubicación pero por falta de tiempo no ha sido posible. De todas formas la programación implementada en este proyecto sienta las bases para los futuros estudios estadísticos que se realizaran.

En cuanto al aprendizaje de este proyecto creo que un proyecto así ofrece un aprendizaje en muchos ámbitos, primero en el ámbito estadístico de programación ya que en mi caso nunca se me ha dado bien programar y este proyecto te brinda la oportunidad de aprender a programar y sobre todo a cómo realizar el tratamiento de datos de forma rigurosa. Por otro lado este proyecto también te permite aprender mucho más sobre las condiciones térmicas y de aislamiento de una vivienda, ya que de forma coloquial simplemente valoramos si en un piso hace frío o calor en un momento determinado. Pero mediante la realización del proyecto he tomado conciencia que hay muchísimos más fenómenos térmicos que interaccionan entre ellos y son los condicionantes del comportamiento térmico de un piso.

Por último este proyecto también te proporciona una enseñanza que no queda reflejada en los resultados finales que es la enseñanza humana. Este proyecto me ha enseñado otras formas de vivir, me ha enseñado que entre nosotros viven familias que realmente tienen necesidades, que en casa pasan frío pero no puede encender la calefacción, o gente que viven en casas donde existen humedades, falta de recursos y necesidad de reformas estructurales.

Como cierre de las conclusiones me gustaría decir que si alguien tiene dudas de realizar un proyecto de este ámbito, que no tenga dudas porque no es un simple proyecto final de grado, es un proyecto que te hace mejor persona, porque sientes que estás ayudando con tus conocimientos a gente que lo necesitan. Por eso acepté sin pensarlo este proyecto cuando Alfredo me lo propuso.

## 11. Objetivos a futuro

Este estudio asienta las bases de los siguientes estudios que se han de realizar en el futuro para seguir analizando las condiciones térmicas de las viviendas del Raval. Es un estudio donde se dan las pautas para seguir una metodología de análisis desde la recepción inicial de los datos a la realización de las conclusiones finales.

En el futuro esta metodología permitirá recopilar información cada vez más completa del comportamiento de las variables térmicas que interfieren en una vivienda e ir completando cada vez más la programación para poder indagar más en cada variable independientemente o en cada combinación de variables.

El inicio de este estudio permitirá el análisis de variables térmica a partir del cual se podrán sacar patrones de comportamiento que posteriormente se podrán introducir en programas de simulación.

El objetivo a largo plazo es mediante los resultados obtenidos mediante el estudio estadístico, llegar a implementar soluciones arquitectónicas y de asilamiento de bajo coste en estas viviendas para poder controlar estos fenómenos térmicos.

Mediante los resultados estadísticos que se vayan haciendo en el futuro podremos llegar a resultados que nos indicaran por ejemplo los puntos débiles de la vivienda en cuanto al aislamiento analizando por ejemplo el comportamiento de las temperaturas a lo largo del día. También podríamos observar que soluciones arquitectónicas son las más indicadas por ejemplo para mejorar la ventilación de la vivienda analizando las concentraciones de CO<sub>2</sub> o soluciones arquitectónicas que nos permitan reducir la humedad general en viviendas donde la humedad es demasiado elevado analizando por ejemplo el comportamiento que registran los termohigrometros de la humedad en dos puntos distintos de la vivienda.

			SENSORES					
	PISOS	CAMPAÑA	TERMOHIGROMETRO A1	TERMOHIGROMETRO A2	FLUJO DE CALOR	TEMPERATURA SUPERFICIAL	SENSOR DE SONIDO	SENSOR CO2
1	Marqués de Barberà 2	VERANO	C1.V.S1	C1.V.S2	C1.V.S3	C1.V.S4	C1.V.S5	C1.V.S6
		INVIERNO	C1.I.S1	C1.I.S2	C1.I.S3	C1.I.S4	C1.I.S5	C1.I.S6
2	Carretes 48	VERANO	C2.V.S1	C2.V.S2	C2.V.S3	C2.V.S4	C2.V.S5	C2.V.S6
		INVIERNO	C2.I.S1	C2.I.S2	C2.I.S3	C2.I.S4	C2.I.S5	C2.I.S6
3	Elisabets 3	VERANO	C3.V.S1	C3.V.S2	C3.V.S3	C3.V.S4	C3.V.S5	C3.V.S6
		INVIERNO	C3.I.S1	C3.I.S2	C3.I.S3	C3.I.S4	C3.I.S5	C3.I.S6
4	Sant Vicenç 28	VERANO	C4.V.S1	C4.V.S2	C4.V.S3	C4.V.S4	C4.V.S5	C4.V.S6
		INVIERNO	C4.I.S1	C4.I.S2	C4.I.S3	C4.I.S4	C4.I.S5	C4.I.S6
5	Junta del comerç 14	VERANO	C5.V.S1	C5.V.S2	C5.V.S3	C5.V.S4	C5.V.S5	C5.V.S6
		INVIERNO	C5.I.S1	C5.I.S2	C5.I.S3	C5.I.S4	C5.I.S5	C5.I.S6
6	San Ramon 2,1r	VERANO	C6.V.S1	C6.V.S2	C6.V.S3	C6.V.S4	C6.V.S5	C6.V.S6
		INVIERNO	C6.I.S1	C6.I.S2	C6.I.S3	C6.I.S4	C6.I.S5	C6.I.S6
7	Peu de la creu 32	VERANO	C7.V.S1	C7.V.S2	C7.V.S3	C7.V.S4	C7.V.S5	C7.V.S6
		INVIERNO	C7.I.S1	C7.I.S2	C7.I.S3	C7.I.S4	C7.I.S5	C7.I.S6
8	Sant Pau 122	VERANO	C8.V.S1	C8.V.S2	C8.V.S3	C8.V.S4	C8.V.S5	C8.V.S6
		INVIERNO	C8.I.S1	C8.I.S2	C8.I.S3	C8.I.S4	C8.I.S5	C8.I.S6
9	San Ramon 2,4t	VERANO	C9.V.S1	C9.V.S2	C9.V.S3	C9.V.S4	C9.V.S5	C9.V.S6
		INVIERNO	C9.I.S1	C9.I.S2	C9.I.S3	C9.I.S4	C9.I.S5	C9.I.S6
10	Rambla del Raval 11	VERANO	C10.V.S1	C10.V.S2	C10.V.S3	C10.V.S4	C10.V.S5	C10.V.S6
		INVIERNO	C10.I.S1	C10.I.S2	C10.I.S3	C10.I.S4	C10.I.S5	C10.I.S6
11	Sant Erasme 7	VERANO	C11.V.S1	C11.V.S2	C11.V.S3	C11.V.S4	C11.V.S5	C11.V.S6
		INVIERNO	C11.I.S1	C11.I.S2	C11.I.S3	C11.I.S4	C11.I.S5	C11.I.S6
12	Parellada 9	VERANO	C12.V.S1	C12.V.S2	C12.V.S3	C12.V.S4	C12.V.S5	C12.V.S6
		INVIERNO	C12.I.S1	C12.I.S2	C12.I.S3	C12.I.S4	C12.I.S5	C12.I.S6

Figura 11.1 Tabla de codificación de sensores (Fuente: Eduard Muñoz)

De cara a los estudios que se puedan realizar en el futuro y atendiendo al hecho que cada vez la muestra de pisos es mayor, se ha propuesto un método de codificación para poder organizar todos los sensores y saber en cada momento que sensor se está tratando y de que piso es

## 12. Análisis económico

Para tomar conciencia de las limitaciones económicas que han podido existir en la realización de este proyecto se ha realizado un estudio económico de los sensores y complementos que han resultado imprescindibles para la realización del proyecto.

En cuanto a los costes de mano de obra se han estimado 8 €/hora que es lo que estipula la EEBE como salario para las practicas curriculares y de esta forma darnos una idea de los que costaría contratar a un estudiante por ejemplo para que realizase este proyecto.

En las siguientes tablas se muestra el desglose económico de costes distribuido en grupos.

Para el cálculo del alumno que ha de realizar el proyecto se han estimado 17 semanas desde el inicio del proyecto, consideredando 48 horas de trabajo por semanas lo que correspondria a 408 horas totales de trabajo dedicadas al proyecto.

SALARIO	Precio [€]	Horas	Total [€]
Salario neto por horas	8€/hora	408	3.264 €
<b>TOTAL</b>			<b>3.264 €</b>

SENSORES	Precio [€]	Unidades	Total [€]
Termohigrometro	15,99 €	2	31,98 €
Sensor calidad de aire	268,99 €	1	268,99 €
Sensor temperatura superficial	279,88 €	1	279,88 €
Termopar tipo K de 5m	14,70 €	2	29,40 €
Termopar tipo K de 1m	26,99 €	3	80,97 €
Sensor de flujo de calor	2.020,70 €	1	2.020,70 €
Sonómetro	191,06 €	1	191,06 €
<b>TOTAL</b>			<b>2.902,98 €</b>

MATERIALES AUXILIARES	Precio [€]	Unidades	Total [€]
Resina termica 3.5 g	16,00 €	1	16,00 €
Billete de metro	11,35 €	1	11,35 €
Lector de tarjeta SD	15 €	1	15,00 €
Paquete de pilas	10,99 €	1	10,99 €
Caja de herramientas	8,25 €	1	8,25 €
Cinta adhesiva	2,50 €	1	2,50 €
<b>TOTAL</b>			<b>64,09 €</b>

SOFTWARE	Precio [€]	Meses	Total [€]
Microsoft excel	135 €	Indefinido	135 €
Software de sensores	Incluidos en el precio del sensor		-
<b>TOTAL</b>			<b>135 €</b>

<b>COSTE TOTAL</b>		<b>6.366,07 €</b>

Figura 12.1 Análisis de costes del proyecto (Fuente: Eduard Muñoz)

Tal y como se puede observar habría que realizar una inversión inicial de alrededor de **6.366,07 €** para poder llevar a cabo este proyecto. Si bien es cierto que se trata de una inversión inicial considerable también se ha de destacar que muchos de los costes iniciales son únicos.

Por costes iniciales únicos se entiende por ejemplo los costes derivados de la adquisición de los sensores por ejemplo o del software. Estos gastos se han de desembolsar al inicio del proyecto pero no son gastos que se tengan que ir realizando periódicamente ya que en el caso de los sensores tienen una vida de uso considerable durante años y en el caso de software la licencia una vez adquirida es indefinida.

## Bibliografía

1. Informe laboratorio de estadística. *Introducción al R*. [Consulta: 10 Marzo 2021]. Disponible en: Material propio de la asignatura
2. Informe laboratorio de estadística. *Estadística descriptiva*. [Consulta: 11 Marzo 2021]. Disponible en: Material propio de la asignatura
3. Informe laboratorio de estadística. *Regresión lineal*. [Consulta: 14 marzo 2021]. Disponible en: Material propio de la asignatura
4. Nil ROMEU BARRA. *EVALUACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO/ACÚSTICO EN VIVIENDAS VULNERABLES EN EL BARRIO DEL RAVAL (BARCELONA)*. Barcelona: Enero de 2020. [Consulta: 16 Marzo 2021]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/345499/TFE%20Nil%20MOREU%20BARRA.pdf?sequence=1>
5. Lucía DELGADO y Daniel LÓPEZ. . *EMERGÈNCIA HABITACIONAL, POBRESA ENERGÈTICA I SALUT*. Barcelona: 2020. [Consulta: 18 marzo 2021]. Disponible en: Material propio de la asociación Oasiurbà
6. Yunus A. ÇENGEL. *Transferencia de calor y masa. Tercera edición*. México, 2007. ISBN 978-970-10-6173-2. [Consulta: 22 Marzo 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%20de%20Calor%20y%20Masa%20-%20Yunus%20Cengel%20-%20Tercera%20Edicion.pdf)
7. Fernando LLORENTE. *¿Qué es la sensación térmica?*. 17 de Septiembre de 2017. [Consulta: 2 Abril 2021]. Disponible en: <https://www.tiempo.com/noticias/divulgacion/-que-es-la-sensacion-termica-.html>
8. Juan Carlos CORREA y Nelfi GONZÁLEZ. *Gráficos Estadísticos con R*. Medellín 2012. [Consulta: 6 Abril 2021]. Disponible en: <https://cran.r-project.org/doc/contrib/grafi3.pdf>

9. Datanalytics. Programación en R. [Consulta: 10 Abril 2021]. Disponible en: [https://www.datanalytics.com/libro\\_r/programacion-en-r.html](https://www.datanalytics.com/libro_r/programacion-en-r.html)
10. Emmanuel PARADIS. *R para principiantes*. Montpellier 2003. [Consulta: 12 Abril 2021]. Disponible en: [https://cran.r-project.org/doc/contrib/rdebuts\\_es.pdf](https://cran.r-project.org/doc/contrib/rdebuts_es.pdf)
11. Robert STEADMAN. *Apparent temperature*. Australia 1984. [Consulta: 22 Abril 2021]. Disponible en: <https://planetcalc.com/2089/>
12. Cristina GIL MARTINEZ. *MÉTODOS DE REGRESIÓN NO LINEAL*. Mayo 2018. [Consulta: 3 Mayo 2021]. Disponible en: [https://rpubs.com/Cristina\\_Gil/Regr\\_no\\_lineal](https://rpubs.com/Cristina_Gil/Regr_no_lineal)
13. Servei Meteorològic de Catalunya. *Dades de l'estació automàtica Barcelona - el Raval*. [Consulta: 10 Mayo 2021]. Disponible en: <https://www.meteo.cat/observacions/xema/dades?codi=X4&dia=2021-02-18T00:00Z>
14. Agencia Estatal de Meteorología. *Sensación térmica de frío y calor*. [Consulta: 22 Mayo 2021]. Disponible en: [http://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/montana/sensacion\\_termica/SensacionTermicaPorFrio-Calor-AEMET.pdf](http://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/montana/sensacion_termica/SensacionTermicaPorFrio-Calor-AEMET.pdf)
15. Organización de Consumidores y Usuarios. *¿Cuánta energía consume una casa?*. Febrero 2016. [Consulta: 5 Junio 2021]. Disponible en: <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/noticias/cuanta-energia-consume-una-casa-571584>
16. IDAE. *Consumos del Sector Residencial en España*. [Consulta: 10 Junio 2021]. Disponible en: [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Documentacion\\_Basica\\_Residencial\\_Unido\\_c93da537.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Documentacion_Basica_Residencial_Unido_c93da537.pdf)
17. PCE Iberica. *Definición de la calidad de aire y el CO2*. [Consulta: 10 Junio 2021]. Disponible en: <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/definicion-calidad-aire-y-co2.htm>

## ANEXO A: Programación Completa

En este anexo se muestra el conjunto de toda la programación necesaria para poder realizar el método estadístico.

```
##### CARRER PARELLADA

#####Cargar Datos

rm(list=ls())
library(readxl)
TermoHigroA1 <- read_excel("D:/MUESTREO/Carrer Parellada 9, 3º 2a/INVIERNO/C12.I.S1.xls")
#View(TermoHigroA1)
library(readxl)
CONSUMO <- read_excel("D:/MUESTREO/Carrer Parellada 9, 3º 2a/INVIERNO/CONSUMO.xlsx")
#View(CONSUMO)
library(readxl)
RED_XEMA <- read_excel("D:/MUESTREO/Carrer Parellada 9, 3º 2a/INVIERNO/RED XEMA.xlsx")
#View(RED_XEMA)
library(readxl)
TempSuper <- read_excel("D:/MUESTREO/Carrer Parellada 9, 3º 2a/INVIERNO/C12.I.S4.xlsx")
#View(TempSuper)
save(TermoHigroA1,CONSUMO,RED_XEMA,TempSuper,file="DatosPiso12.Rda")

#####
##### CALCULAMOS VARIABLE PRESION Y SENSACION TERMICA
attach(TermoHigroA1)
names(TermoHigroA1)
PresionR <- (Humidity/100) *6.105 *exp((17.27*Temperature)/(237.7+Temperature))
SensasionTermica<- Temperature+0.348*PresionR-4.25
TermoHigroA1 <- cbind(TermoHigroA1,PresionR,SensasionTermica)

#####
#####IMPUTAMOS VALORES
library(tidyverse)
library(readr)
library(mice)
library(colospace)
library(grid)
library(VIM)
library(reshape2)
library(plyr)
library(dplyr)
library(ggplot2)
library(GGally)
library(lattice)
library(caret)
library(plotly)
library(ggstatsplot)
library(splines)
library(lubridate)
library(polynom)
library(scales)

#####ORGANIZAMOS FECHA Y HORA
TermoHigroA1$Time<-lubridate::ymd_hms(TermoHigroA1$Time)
CONSUMO$Time = ymd_hms(paste(CONSUMO$Fecha, CONSUMO$Hora,rep("":00:00",length(CONSUMO$Fecha))))
CONSUMO<-CONSUMO %>% subset(select = -c(Fecha,Hora))
```

```
#####IMPUTAMOS CONSUMO
fit1 <- approx(CONSUMO$Time, CONSUMO$Consumo, xout = TermoHigroA1$Time, ties = mean)
df1=data.frame(Time=fit1$x, Consumo_est=fit1$y)
#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)
ggplot(df1, aes(Time, Consumo_est)) +
  geom_point() + geom_line() +
  scale_x_datetime(breaks=date_breaks("1 day"),
    minor_breaks=date_breaks("1 hour"))
datosC12 <- cbind(TermoHigroA1,Consumo_est=df1$Consumo_est)

#####ORGANIZAMOS FECHA Y HORA RED XEMA
Position<-data.frame(do.call('rbind',strsplit(as.character(RED_XEMA$Periodo)," - ",fixed=TRUE)))
Position$Time1 = lubridate::ymd_hms(paste0(RED_XEMA$Dia , Position$X1, rep(":"00",length(Position$X1))))
Position$Time2 = lubridate::ymd_hms(paste0(RED_XEMA$Dia, Position$X2, rep(":"00",length(Position$X2))))
resta = difftime(Position$Time2,Position$Time1)
resta[resta<0]=24*60+resta[resta<0]
RED_XEMA$Time_av = resta/2+Position$Time1

#####IMPUTAMOS TEMPERATURA MEDIA DE RED XEMA
fit2 <- approx(RED_XEMA$Time_av, RED_XEMA$TempMedia, xout = datosC12$Time, ties = mean)
df2=data.frame(Time=fit2$x, TempMedia_est=fit2$y)
#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)
ggplot(df2, aes(Time, TempMedia_est)) +
  geom_point() + geom_line() +
  scale_x_datetime(breaks=date_breaks("1 day"),
    minor_breaks=date_breaks("1 hour"))
datosC12 <- cbind(datosC12,TempMedia_est=df2$TempMedia_est)

#####IMPUTAMOS HUMEDAD RELATIVA RED XEMA
fit3 <- approx(RED_XEMA$Time_av, RED_XEMA$HumRel, xout = datosC12$Time, ties = mean)
df3=data.frame(Time=fit3$x, HumRel_est=fit3$y)
#df$Time<-lubridate::ymd_hms(df$x)
ggplot(df3, aes(Time, HumRel_est)) +
  geom_point() + geom_line() +
  scale_x_datetime(breaks=date_breaks("1 day"),
    minor_breaks=date_breaks("1 hour"))
datosC12 <- cbind(datosC12,HumRel_est=df3$HumRel_est)

#####AÑADIMOS A LA MATRIZ LA TEMPERATURA SUPERFICIAL
datosC12 <- cbind(datosC12,TempTecho=TempSuper$Ch1_Value)
datosC12 <- cbind(datosC12,TempPared=TempSuper$Ch3_Value)

#####ESCALAMOS LA MATRIZ DE DATOS
Datos.Preprocess <- preProcess(datosC12[,3:11], method=c("center", "scale"))
Datos.Escalados <- predict(Datos.Preprocess, datosC12[,3:11])

#####INFORMACION GENERAL DATOS ESCALADOS
summary(Datos.Escalados)

#####INFORMACION GENERAL DATOS NO ESCALADOS
summary(datosC12)
```

```
#####OBSERVAMOS CORRELACION DE todas LAS VARIABLES

plot_corr = datosC12 %>%
  subset(select = -c(No.,Time)) %>%
  GGally::ggpairs(aes(alpha = 0.4))
show(plot_corr)

#####OBSERVAMOS CORRELACION DE variables concretas
plot_corr = datosC12 %>%
  subset(select = -c(No.,Time,TempTecho,TempPared)) %>%
  GGally::ggpairs(aes(alpha = 0.4))
show(plot_corr)
#####Correlacion de consumo-temperatura habitacion-humedad habitacion
plot_corr = datosC12 %>%
  subset(select = -c(No.,Time,TempTecho,TempPared,PresionR,SensasionTermica,TempMedia_est,HumRel_est)) %>%
  GGally::ggpairs(aes(alpha = 0.4))
show(plot_corr)

#####
#####
##### PVALOR
library(tidyverse)
library(readr)
library(mice)
library(colorspace)
library(grid)
library(VIM)
library(reshape2)
library(plyr)
library(dplyr)
library(ggplot2)
library(GGally)
library(lattice)
library(caret)
library(plotly)
library(ggstatsplot)

#####FIJAMOS EL PUNTO DE PARTIDA DE LA SELECCION ALEATORIA EN 123
Data.partition <- datosC12[,3:11]
# semilla está en 123
attach(Data.partition)
set.seed(123)
training.samples <- Consumo_est %>%
  createDataPartition(p = 0.8, list = FALSE)
train.data <- Data.partition[training.samples, ]
test.data <- Data.partition[-training.samples, ]

preProcValues <- preprocess(train.data, method = c("center", "scale"))
train.data.sc <- predict(preProcValues, train.data)
test.data.sc <- predict(preProcValues, test.data)
save(train.data.sc,test.data.sc, file = "divided.data.mean.RData")
#####
# Modelando
#####

Modelo.ALL <- train(data = train.data.sc, Consumo_est ~., method = "lm",
  trControl = trainControl("repeatedcv", number = 4, repeats = 50))
Modelo.ALL
summary(Modelo.ALL)
#####
# Importancia de las variables
#####
Importance = varImp(Modelo.ALL)
Importance
#####

#####
# Modelando
#####
### GENERANDO OTRO MODELO
Modelo2 <- train(data = train.data.sc, Consumo_est ~Temperature+PresionR+SensasionTermica+Humidity, method = "lm",
  trControl = trainControl("repeatedcv", number = 4, repeats = 50))
Modelo2
summary(Modelo2)
#####Exportar datos
write_excel_csv2(datosC12,"DatosC12.csv")
Datos.Escalados <- cbind(No.=datosC12$No,Time=datosC12$Time,Datos.Escalados)
write_excel_csv2(Datos.Escalados,"DatosC12Escal.csv")
```

Figura Anexo A Conjunto programación (Fuente: Eduard Muñoz)