

# ANEXOS

---

## ANEXO I Soluciones Constructivas

En este anexo se describen y detallan las soluciones constructivas llevadas a cabo en la rehabilitación energética del inmueble.

### Descripción de las soluciones constructivas en la rehabilitación energética del inmueble

#### Rehabilitación energética del edificio

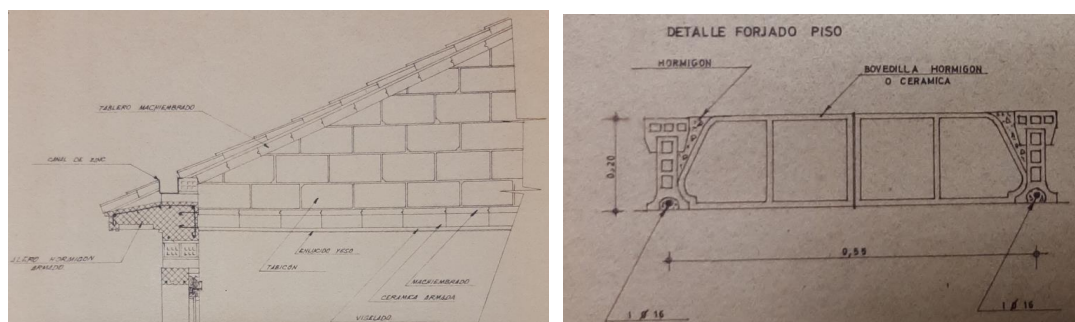
En las viejas edificaciones buena parte de la energía empleada en climatización (calefacción y refrigeración) se pierde a través de sus cerramientos. Mediante la mejora del aislamiento térmico de la envolvente se pueden reducir notablemente dichas pérdidas y, por tanto, la demanda energética y el consiguiente consumo de energía.

La obra de rehabilitación energética del edificio es una obra integral promovida por la Comunidad de Propietarios del edificio y realizada gracias a la subvención recibida por parte de la Sociedad Municipal Zaragoza Vivienda, S.L.U., a través de las ayudas económicas a la rehabilitación edificatoria de uso residencial concedida en diciembre de 2019 [1]

#### Estado inicial envolvente

De acuerdo al expediente del proyecto original [2] la envolvente del edificio carece de cualquier tipo de aislamiento térmico teniendo la siguiente composición:

- **Fachada.** Compuesta por doble hoja de ladrillo doble hueco (9 x 12 x 25 cm) intercalado con ladrillo macizo. (5 x 12 x 25 cm), sin cámara de aire con revoco exterior de mortero de cemento pintado y guarnecido y enlucido de yeso interior.
- **Cubierta.** Cubierta a dos aguas de teja curva sentada con mortero de cemento sobre tablero machihembrado ligeramente jarrado apoyado en tabicones de ladrillo de doble hueco de 9cm con huecos para la libre circulación del aire montados sobre forjado de piso de cerámica armada.
- **Forjado local - planta semisótano.** Forjado tipo cerámico armado con tablero machihembrado en cara superior sobre la que reposa un manto de hormigón y baldosa hidráulica de 2cm
- **Medianera.** Compuesta por doble hoja de ladrillo doble hueco (9 x 12 x 25 cm), sin cámara de aire y con enlucido de yeso en las dos caras
- **Huecos.** Las carpinterías originales eran de madera con vidrio simple. Solo continúan en una de las viviendas, el resto se han sustituido por ventanas de aluminio o PVC. En las fachadas principales tres viviendas disponen de dobles ventanas y en las traseras (orientación NO y NE) 5 viviendas.



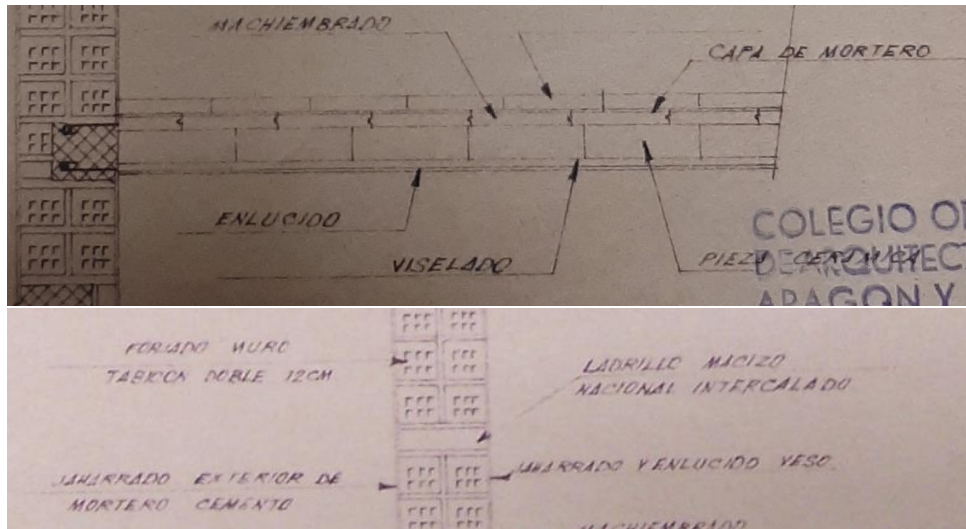


Figura 1. Composición envolvente.

## Soluciones adoptadas y actuaciones llevadas a cabo

### Soluciones adoptadas

Para la mejora de la eficiencia energética de la envolvente se decide el sistema SATE frente al trasdosado interior de cada vivienda como mejor opción técnica ya que presenta las siguientes ventajas:

- Permite reparar desperfectos y defectos en fachada y cubierta. (En este caso la sustitución completa de tejas en la cubierta y la impermeabilización de la cubierta por medio de una capa impermeable).
- Se aprovecha la inercia térmica de los elementos que constituyen la envolvente opaca.
- Al ser un edificio habitado no es necesario desalojar las viviendas para realizar la intervención, alterando lo menos posible la rutina de los vecinos durante las obras de rehabilitación energética del edificio.
- Se corrigen la mayoría de los puentes térmicos, de modo que se evitan las paredes “frías” y el riesgo de formación de condensaciones superficiales y moho.
- No se reduce la superficie útil de las viviendas ni de los espacios comunes del inmueble.
- Protege el cerramiento original del edificio, incrementando su vida útil y por lo tanto la vida útil del edificio.
- Se mejora la estética del edificio.
- Se mejoran las cualidades del edificio (aislamiento térmico o acústico, impermeabilidad, etc.).

Por otro lado, entre los inconvenientes de este tipo de rehabilitaciones encontramos las siguientes Desventajas:

- Mayor coste económico, (en medidas de seguridad y andamiajes principalmente).
- Modificaciones en una serie de detalles: aleros voladizos, ventanas, puertas y lugares donde la envoltura exterior se atraviesa, para la adecuación al nuevo espesor de fachada.
- Necesario el consentimiento de la comunidad de vecinos.
- Ruidos, invasión de espacio urbano (aceras) y molestias que ocasionan las obras para los vecinos y viandantes.

## Actuaciones llevadas a cabo en la rehabilitación energética del edificio

De acuerdo al informe técnico de obras de eficiencia energética recogido en el *proyecto básico y de ejecución de supresión de barreras arquitectónicas y obras de eficiencia energética* [3] las actuaciones llevadas a cabo para mejorar la eficiencia energética de la envolvente del edificio han sido:

- Colocación de revestimiento aislante tipo SATE (Sistema de Aislamiento Térmico Exterior) en fachadas principales y trasera con un espesor de 6 cm mediante panel de lana de roca de doble densidad y acabado exterior de revestimiento de mortero (Revoco RED Art Acabado Silicato).
- Colocación en cubiertas inclinadas de aislante térmico mediante placas rígidas de poliestireno extruido tipo III, y superficie acanalada, de 50 mm.
- Colocación en solera bajo cubierta de una capa de 6 cm de lana mineral. Sobre la superficie y entre los ladrillos palomeros que crean la pendiente del tejado.
- Colocación en techo de local de una capa de aislamiento de lana mineral, también de 6 cm.
- Colocación de dobles ventanas correderas de marco de aluminio lacado en blanco de 60 micras con doble vidrio y cámara 4/6/4, en todos los huecos de las viviendas del inmueble.
- Sustitución de todas las ventanas del hueco de escaleras del inmueble por unas nuevas de marco de aluminio lacado en blanco de 60 micras y doble vidrio con cámara 4-6-4.

De acuerdo al proyecto de rehabilitación todos los desperfectos detectados durante la ejecución de las obra en, la envolvente del edificio, se han corregido aplicando los criterios del CTE y todos los materiales empleados en el aislamiento térmico son ecológicos y de baja producción de CO<sub>2</sub>

Aparte de las descritas se han llevan a cabo otras actuaciones como la sustitución por completo de las tejas existentes en la cubierta, la eliminación de barreras arquitectónicas en la entrada al edificio, la reubicación de contadores y la implementación de un ascensor.

### Descripción de las actuaciones realizadas

A continuación se describen cada una de las intervenciones llevadas a cabo en la rehabilitación energética del edificio señaladas en el punto anterior.

#### Colocación de revestimiento aislante tipo SATE en fachadas.

Se han colocado paneles de lana de roca de doble densidad (RockSATE Duo PLUS, 150kg/m<sup>3</sup> en capa superior y 95Kg/m<sup>3</sup> en capa inferior) con un espesor de 6 cm y conductividad térmica de 0,035 W/mK en todas las fachadas del edificio (las dos principales y las dos traseras) con acabado exterior de revestimiento de mortero. Se ha seguido el sistema REDArt de Rockwool ilustrado en la Figura 2 garantizando la continuidad del aislamiento. Las especificaciones concretas se pueden consultar en la memoria del proyecto [3] y en la página web del fabricante [4].



Figura 2. Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior RED ART (fuente ROCKWOOL)



Figura 3. Colocación de paneles de lana de roca en fachadas

### Colocación de aislante térmico en cubiertas inclinadas

Se ha aislado la cubierta del edificio mediante placas rígidas de poliestireno extruido tipo III, (superficie acanalada Styrodur) de 50 mm de espesor sobre el tablero de cubierta existente y con una resistencia térmica de  $0,04\text{w/mK}$ .

Aparte del aislamiento térmico de la cubierta, se han reemplazado todas las tejas de la cubierta por teja nueva, se ha comprobado la cámara de aire existente adecuando sus aberturas de ventilación y se ha añadido una capa de impermeabilización, entre la teja y la capa térmica, consistente en Onduline bajo teja fijado mecánicamente.



Figura 4. sustitución de teja y colocación de capas de impermeabilización y de aislamiento térmico y

### Colocación en solera bajo cubierta de una capa de 6 cm de lana mineral

La solera bajo cubierta se ha aislado mediante la colocación de una capa de 6 cm de lana mineral sobre su superficie, dicha capa está situada entre los ladrillos palomeros que crean la pendiente del tejado.



Figura 5. Colocación de lana mineral entre tabiquillos palomeros

### Colocación en techo de local de aislante térmico

La solera de la primera planta se ha aislado colocando en el techo de local semisótano aislamiento de lana mineral de 6 cm de espesor. El mismo tipo de manta y espesor que la puesta en solera bajo cubierta.



Figura 6. Colocación de lana mineral en techo local

### Colocación en viviendas de doubles ventanas

Se han instalado doubles ventanas correderas en todos los huecos de las viviendas del edificio sustituyendo las de aquellas viviendas que ya contaran con ellas. Los vidrios de las doubles ventanas son de doble vidrio y cámara 4/6/4. Los marcos son de marco de aluminio lacado en blanco de 60 micras con rotura de puente térmico.

En la colocación de las ventanas se ha procurado tapar y sellar todos los intersticios de los huecos por donde pueda haber infiltraciones.



Figura 7. Colocación de doubles ventanas

### Sustitución de todas las ventanas del hueco de escaleras del inmueble

Se han sustituido todas las ventanas de los espacios comunales (escaleras) por unas nuevas de aluminio lacado en blanco de 60 micras y doble vidrio con cámara 4/6/4. Con sistema de seguridad que impida su total apertura tal como se describe el proyecto de rehabilitación.

Igualmente se ha sustituido la puerta de entrada a la finca por una nueva compuesta por dos hojas abatibles de acero inoxidable y vidrio translucido



*Figura 8. Vista exterior ventana hueco escaleras y puerta de entrada al edificio*

### **Fechas en que se llevaron a cabo las intervenciones**

De acuerdo con los datos aportados por el arquitecto que ha realizado el proyecto y el seguimiento de las obras de rehabilitación, la temporización de dichas obras, en la parte del aislamiento térmico, son las siguientes:

- CUBIERTA: Reparación y aislamiento de cubierta a lo largo de noviembre/diciembre 2020.
- SATE: Colocación de SATE en fachada principal y trasera desde octubre 2020 hasta enero 2021.
- DOBLES VENTANAS: Colocación de doubles ventanas a lo largo de todo el mes de mayo 2021.
- AISLAMIENTO TECHO LOCAL: Colocación de falso techo con aislamiento en el local a principios del mes de julio 2021.

## ANEXO II TFM Viviendas Monitorizadas

### SELECCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE TRES VIVIENDAS DEL INMUEBLE OBJETO DEL ESTUDIO

En esta sección se lleva a cabo el estudio, análisis, y evaluación de los aspectos sociales, culturales y económicos que influye en los hábitos de consumo y pautas de comportamiento (y por tanto en el gasto energético) de los ocupantes de las viviendas seleccionadas.

#### Selección y características de las viviendas monitorizadas

La monitorización de tres viviendas en planta baja, intermedia y bajo cubierta es un requisito obligatorio que Zaragoza Vivienda pide para conceder las subvenciones [5]. Ese criterio se debe al hecho de que estas viviendas recogen la mayor parte de las posibilidades energéticas que se dan en el edificio. Viviendas más o menos expuestas a las pérdidas de calor en función de su ubicación dentro del edificio.

#### Selección

Las tres viviendas seleccionadas para su monitorización y recogida de datos son:

- Piso bajo cubierta: 5<sup>º</sup>- 3<sup>ª</sup> (**5ª planta, 3ª puerta**). Orientación fachada lateral (45° Suroeste), fachada trasera (45° Noreste).
- Piso entreplantas: 3<sup>º</sup>-3<sup>ª</sup> (**3ª planta, 3ª puerta**). Orientación fachada lateral (45° Suroeste), fachada trasera (45° Noreste).
- Piso bajo sobre local: 1<sup>º</sup>-1<sup>ª</sup> (**1ª planta, 1ª puerta**). Orientación fachada principal (45° Sureste), fachada trasera (45° Noroeste).

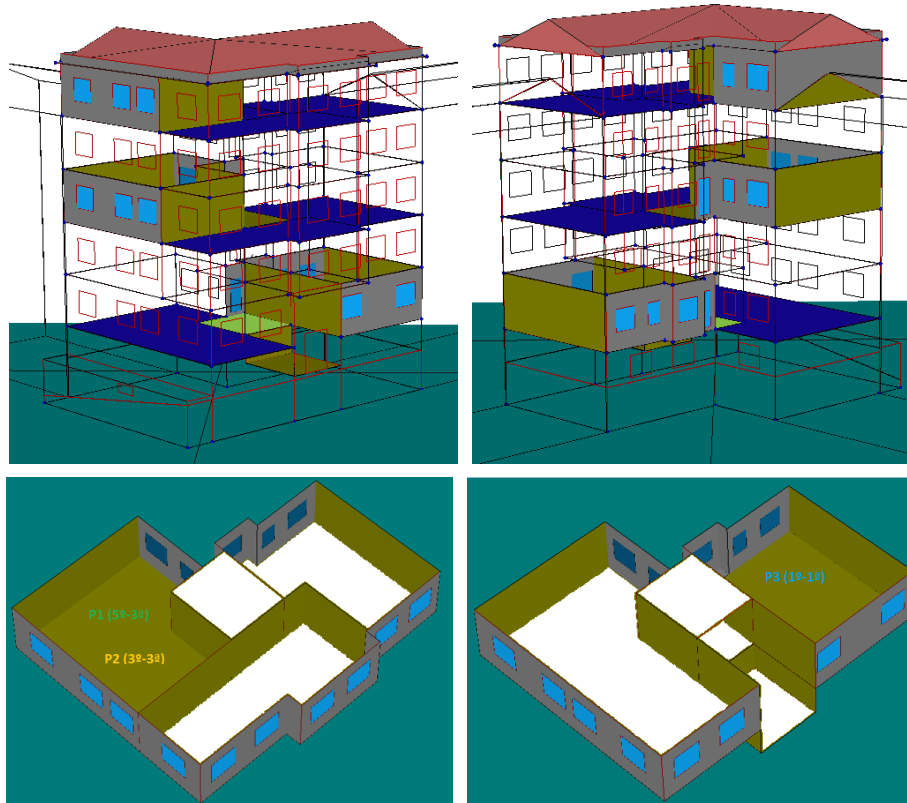


Figura 9. Situación viviendas monitorizadas en el edificio.



## Etiquetado viviendas seleccionadas

En todos los análisis realizados se ha seguido el siguiente etiquetado y color de referencia de las viviendas de muestra:

Vivienda	1º-1ª	3º-3ª	5º-3ª	Edificio	Vivienda Sin Rehabilitar	Temperatura exterior
Etiquetado	P3 (1º-1ª)	P2 (3º-3ª)	P1 (5º-3ª)	Edificio	VSR (4º-4ª)	Exterior vivienda
Color	Azul	Marrón	Verde	Lavanda	Azul claro	Rosa Claro
Representación en Grafana	P3	P2	P1			

Tabla 1. Etiquetado y color viviendas de muestra, temperatura exterior y edificio.

La vivienda sin rehabilitar (VSR 4º-4ª) es la vivienda que se utiliza de comparación en algunos de los análisis realizados. Esta vivienda se describe más adelante en el apartado *Estudio previo. Monitorización vivienda no rehabilitada* de la sección *Análisis realizados y resultados obtenidos* (Anexo IV *Análisis realizados y resultados obtenidos*).

Los periodos de análisis de facturas se han dividido en 3 años que van de mediados de julio a mediados de julio. La finalización de las obras de rehabilitación es el evento que ha marcado el inicio de cada periodo. El etiquetado de estos periodos se muestra en la Tabla 2.

Periodo	1er periodo	2do periodo	3er periodo
Nombre	Año Edificio SIN rehabilitar	Año Obras rehabilitación	Año edificio Rehabilitado
Color	Azul grisáceo (80%)	Azul grisáceo (60%)	Azul grisáceo (40%)

Tabla 2. Etiquetado y color de periodos de análisis de consumos de energía

## Fecha primera monitorización

La primera monitorización de los pisos seleccionados para el estudio de la eficiencia energética del bloque fue el 30/03/2021 a las 9h00

## Características. Perfil de ocupación del edificio y viviendas seleccionadas

La mayor parte de los residentes del edificio son, por un lado, personas mayores que llevan viviendo más de 50 años en el edificio, y por otro inmigrantes en calidad de inquilinos.

A continuación, se muestra en la Tabla 3 la ocupación y consumos de las viviendas. En color **negro** se reflejan los datos que se han podido verificar, mientras que en **marrón** se reflejan los datos supuestos.

Vivienda	1º-1ª	1º-2ª	2º-1ª	2º-2ª	2º-3ª	3º-1ª	3º-2ª
Personas	1	0	3	3	4	3	3
Datos personas	Viuda de más de 80 años	No ocupada			Familia		

<b>Consumo ACS</b> (l/día·persona)	28	0	84	84	112	84	84
<b>Vivienda</b>	3º-3ª	4º-1ª	4º-2ª	4º-3ª	5º-1ª	5º-2ª	5º-3ª
<b>Personas</b>	1	3	3	4	1	2	2
<b>Datos personas</b>	Viuda de más de 80 años			Familia	Joven emigrante	Pareja	Pareja joven emigrante
<b>Consumo ACS</b> (l/día·persona)	28	84	84	112	28	56	56

Tabla 3. Datos de ocupantes y consumos en cada vivienda del edificio

### Consumos ACS

Para los cálculos de consumos de ACS supuestos, los de aquellas viviendas que se desconocen el número de ocupantes, se ha seguido la normativa indicada en el CTE (DB-HE4 Anejo F) [6] donde se fijan 28 litros/día persona (a 60°C) con 2 personas por dormitorio principal y una por cada dormitorio extra). Es decir, en aquellas viviendas que se desconocen los datos de ocupación, se ha supuesto una ocupación de 3 personas por vivienda al ser viviendas con dos dormitorios.

Estos datos de consumos de ACS serán los que se introduzcan en el software de simulación HULC.

### Superficie viviendas monitorizadas

<b>Vivienda</b>	<b>P3 (1º-1ª)</b>	<b>P2 (3º-3ª)</b>	<b>P1 (5º-3ª)</b>
<b>Superficie (m2)</b> (sin tener en cuenta tabiques interiores)	43,7	46,67	46,67

Tabla 4. Superficie de las viviendas monitorizadas

## Perfil Social. Entrevistas y hábitos de consumo

De cara a caracterizar los hábitos de uso y consumo de energía de los habitantes de las viviendas seleccionadas se elaboró una encuesta recogida en el “Anexo Cuestionario Vecinos”, donde se pregunta a los vecinos sobre sus hábitos energéticos y la historia del propio edificio.

### Encuesta. Entrevistas.

En un principio se elaboró la encuesta recogida en el Anexo *Cuestionario Vecinos* como herramienta para conocer los hábitos energéticos de los ocupantes del edificio, con la pretensión de hacerla llegar a los vecinos del mismo con ayuda del administrador. Por diversos motivos no fue posible y se desechó la idea de llegar a todos los vecinos, centrándose el esfuerzo en las viviendas de muestra. Dada la edad tan avanzada de dos de las moradoras de los pisos de muestra (1º-1ª y 3º-3ª) sumado a que la experiencia demuestra que los resultados sobre la caracterización de hogares, así como de su equipamiento son bastante más fidedignos en entrevistas [7], se decidió realizar entrevistas cara a cara siguiendo el guion de las encuestas. Las entrevistas se realizaron en tres visitas al edificio entre mayo y julio de 2022.

La encuesta / entrevista se divide en varios apartados:

- Perfil residentes. Sexo, edad, ocupación) aproximada. Trabajan o están jubiladas, etc.
- Hábitos de consumo. Temperatura de consigna caldera /refrigeración, horas, ACS en invierno y en verano, ocupación de las viviendas a lo largo del año, etc.

- Percepción térmica. Estado actual Edificio. Pretende averiguar si las personas que viven en las viviendas perciben mejoras en consumos, temperatura en el hogar, ahorro en facturas, ... después de la rehabilitación.
- Consumos eléctricos. Trata de estimar el consumo eléctrico en la vivienda
- Pandemia, Guerra e Incidencias subida precios, pretende averiguar el impacto de la Pandemia y la guerra de Ucrania en el consumo de energía en las viviendas.
- Estado actual viviendas. Se pide ver o se pregunta a los residentes por el estado y características de calderas, radiadores, sistema de climatización en verano, electrodomésticos y ventanas. En el caso que los ocupantes den su consentimiento se fotografían dichos elementos.

### Datos y eventos sacados de las entrevistas. Hábitos de consumo

A continuación se reflejan datos, impresiones e información sacadas de las entrevistas. Ciertas pautas de consumo explicarán más adelante resultados discordantes con el aislamiento de la envolvente y el consumo de combustible, como consumos excesivos con el edificio ya aislado térmicamente.

#### Edificio

- La mayor parte de los habitantes del edificio son emigrantes.
- Una de las viviendas (1<sup>º</sup>-2<sup>ª</sup>) esta desocupada

#### Vivienda P1 5<sup>º</sup>-3<sup>ª</sup>

- Pareja joven emigrante. Ocupan la vivienda en calidad de inquilinos.
- Pasa mucho tiempo en el piso.
- Durante meses el sensor de esta vivienda no registró datos no siendo posible el acceso al mismo para su sustitución o arreglo.
- En invierno la temperatura de consigna supera los 24<sup>º</sup>C
- Equipo móvil de refrigeración que no sale del dormitorio principal.
- Por las visitas y entrevistas realizadas se sabe que en el comedor-salón de la vivienda, lugar donde está situado el sensor de monitorización, hay numerosas plantas y no es donde está el dispositivo móvil de refrigeración.
- También se sabe que las ventanas siempre permanecen entreabiertas en verano y nunca están con las persianas bajadas. En el salón, no cierran ventanas ni bajan persianas en las horas de más calor.

#### Vivienda P2 3<sup>º</sup>-3<sup>ª</sup>

- Viuda anciana. Dueña de la vivienda. Su marido murió hace 5 años.
- Reside en el edificio desde su construcción.
- Persona de frágil salud, poca memoria y respuestas muy generales y ambiguas.
- Pasa temporadas en hospital (no se precisa el tiempo ni desde cuándo).
- Pasa parte del verano fuera del piso.
- Cuando deja la vivienda cierra las ventanas y las persianas bajadas casi en su totalidad.
- Durante el confinamiento de la pandemia una hija paso a vivir con ella.
- No hay sistema de refrigeración. Solo un ventilador.
- Cocina eléctrica. Vitrocerámica. Tiempo en cocinar entre 1h y 1h:30'

#### Vivienda P3 1<sup>º</sup>-1<sup>ª</sup>

- Anciana viuda. Dueña de la vivienda
- Su marido murió en el invierno de 2019 – 2020. (Este dato puede ayudar a explicar por qué el invierno 19- 20, justo antes de la reclusión de la pandemia, hay un menor gasto de combustible que el invierno anterior).
- Reside en el edificio desde 1971.
- Durante el confinamiento de la pandemia no vivió en el piso.
- Poca memoria y respuestas muy generales y ambiguas.

- No es capaz de precisar cuántas hora al día enciende la calefacción pero señala que este año “bastante menos”. Por el día enciende la caldera a medio día (T consigna = 22°C) hasta la hora de dormir (entre las 23h y las 24h). Por la noche baja el termostato a 17 – 18°C
- Cocina eléctrica. Tiempo en cocinar entre 1h y 1h:30
- Split de aire acondicionado
- En verano refresca la casa abriendo las ventanas y “poniéndolas en corriente”
- Caldera con 14 - 15 años de antigüedad
- Desde la rehabilitación la inquilina ha notado que “el piso está más caliente”
- Cocina eléctrica. Tiempo en cocinar entre 1h y 1h:30)
- Al final de la entrevista muestra signos de cansancio y desconfianza. Sobre todo ante preguntas que tienen que ver con los tiempos de desocupación de la vivienda.

### Perfil energético del edificio. Sistemas de climatización

El sistema de calefacción y ACS por caldera murales individuales de gas natural y radiadores es mayoritario en el edificio. Se fue implantando poco a poco por la mayoría de los vecinos del inmueble a la llegada de la red de distribución gasística al edificio.

De acuerdo con las fotografías tomadas y las visitas realizadas se ha confeccionado la Tabla 5 donde se indica que tipo de sistema de climatización utiliza cada vivienda del edificio.

Vivienda	1º-1ª	1º-2ª	2º-1ª	2º-2ª	2º-3ª	3º-1ª	3º-2ª	3º-3ª	4º-1ª	4º-2ª	4º-3ª	5º-1ª	5º-2ª	5º-3ª
Calefacción y ACS	Gas	Gas vacía	Elec	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas	Elec	Gas	Gas
Refrigeración	Elec		Elec	Elec					Elec					Elec

Tabla 5. Fuente energética Calefacción, ACS y Refrigeración

### Sistemas de calefacción y ACS

#### Calefacción y ACS por gas

Las viviendas con sistemas de calefacción por radiadores y ACS por gas son mayoría. Solo dos de las viviendas del bloque tienen sistemas de calefacción eléctricos.



Figura 10. Radiadores en viviendas de muestra 1º-1ª, 3º-3ª y 5º-3ª

## Características de calderas




Vivienda	P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> )	P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )	P1 (5 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )
Caldera	Sarigas Zoom ZF 420 A	Sanier Duval ThemaClassic_F25-E	Baxi Roca Neodens Plus -28/28 F ECO
Fotografía			
Características de calderas			
Tipo	Caldera mural estanca de gas natural para ACS y Calefacción		Caldera mural de condensación de gas natural para ACS y Calefacción
Potencia nominal a 80°C (kW)	26	24	24
Rendimiento nominal (%)	90,4	92,8	105,8

Tabla 6. Calderas de las viviendas monitorizadas y características técnicas

Las especificaciones técnicas de cada modelo se pueden hallar en la documentación que cada casa pone a disposición de usuarios y técnicos ([8], [9], [10]).

Las calderas mostradas en la Tabla 6 son las de las viviendas monitorizadas y son las únicas calderas cuyos modelos se conocen. Para el resto de las 9 viviendas se han supuesto calderas murales con características intermedias a las de las conocidas. Calderas murales estancas de gas con una potencia nominal a 80°C de 24 kW y un rendimiento sobre PCI a 80°C del 93%.

### Calefacción y ACS eléctricas

A falta de más información, en las dos viviendas que carecen de calderas de gas (ver Tabla 5), se han supuesto radiadores eléctricos individuales de 1000W de potencia por habitación y pasillo, salvo el radiador del baño que al ser la dependencia más pequeña se le supone una potencia eléctrica del radiador de 500W. Como las dos viviendas tienen 2 dormitorios, un salón-comedor, una cocina, un pasillo y un cuarto de baño; la potencia total por vivienda será de 5500 W eléctricos. Con estos datos se les supone a estas dos viviendas una caldera de energía eléctrica de calefacción y ACS convencional de 10 kW con un rendimiento de 0,9 y potencia 10 kW.

### Excepción vivienda 1<sup>o</sup>-2<sup>a</sup>

Esta vivienda es una excepción dentro del edificio. Es la vivienda con mayor superficie (tiene dos dormitorios más que el resto), las ventanas son las originales (vidrios simples con marcos de madera), esta desocupada y desde el exterior muestra signos de abandono. Las fotografías tomadas antes de la rehabilitación de su fachada traseras (orientación NO) muestran la chimenea de una caldera de gas y dobles ventanas en sus huecos (Figura 11).

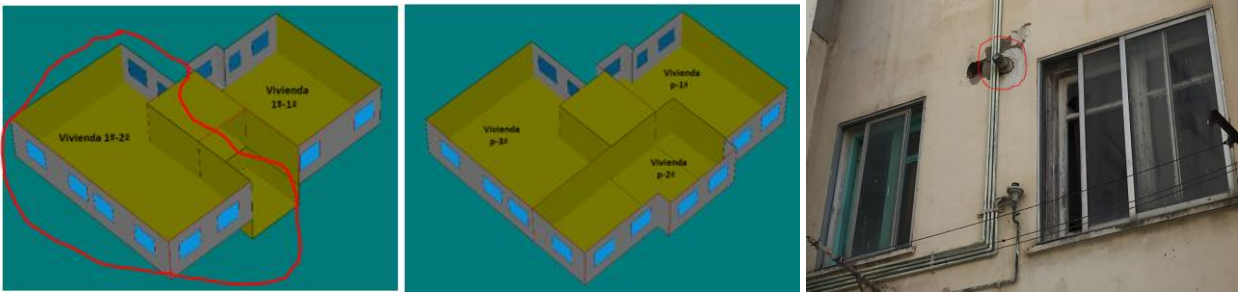


Figura 11. Detalles vivienda 1º-2ª

A falta de más información se le ha supuesto una caldera mixta convencional de bajo rendimiento y, dado que está desocupada, una capacidad térmica de los radiadores de 0kW y un consumo de ACS de 0 l/día.

### Sistemas de refrigeración

Como se indica en la Tabla 5 cinco de las catorce viviendas del edificio disponen de sistemas de refrigeración eléctrica. Cuatro de ellos son Split uni-zona y el quinto es un sistema móvil de refrigeración.



Figura 12. Sistemas de refrigeración viviendas 1º1ª, 2º1ª, 2º2ª, 4º1ª y 5º3ª,

### Características sistemas de refrigeración



Vivienda	P3 (1º-1ª)	P2 (3º-3ª)	P1 (5º-3ª)
Sistema refrigeración	LG JET COOL S12ET.UA3		PR KLIMA
Fotografía			
Características Sistemas de refrigeración			
Tipo	Split		Móvil
Potencia nominal (kW)	3,5		3
Consumo refrigeración nominal (kW)	1.08		1,2

Tabla 7. Sistemas de refrigeración en viviendas monitorizadas y características técnicas

Piso	Capacidad total de refrigeración nominal (kW)	Capacidad sensible de refrigeración Nominal (kW)	Consumo de refrigeración nominal (kW)	Caudal de impulsión nominal (m <sup>3</sup> /h)	EER
1º-1ª	3,5	2,63	1,08	450	3,24
2º-1ª	2,5	1,88	0,96	450	2,60
2º-2ª	2,5	1,88	0,96	450	2,60
4º-1ª	2,5	1,88	0,96	450	2,60
5º-3ª	3	2,25	1,20	600	2,50

*Tabla 8. Características sistemas de refrigeración viviendas*

Se conocen las características de dos de los sistemas de refrigeración dado que son los de las viviendas de muestra visitadas, para los otros tres sistemas se han supuesto los datos y son los expuestos en la Tabla 8.

## ANEXO III Recopilación de Datos

En esta sección se presentan los sistemas de monitorización utilizados, el tratamiento de los datos recopilados tanto en el exterior del edificio como en el interior de las viviendas de muestra y el tratamiento de los datos de consumos energéticos (gas y electricidad) recabados a través de facturas obtenidas antes y después de la rehabilitación del inmueble.

### **RECOPIACIÓN DE LOS DATOS MONITORIZADOS A TRAVÉS DE SONDAS Y FACTURAS**

La recopilación de datos en monitorizaciones y facturas, su tratamiento y clasificación, su posterior interpretación, análisis y estudio requieren de los siguientes apartados:

- Equipos de medida y monitorización.  
En este apartado se describen los sistemas de monitorización empleados, su funcionamiento y ubicación.
- Recopilación de datos monitorizados. Grafana.  
En este apartado se describe el software de gestión de los datos obtenidos por los sistemas de monitorización y su tratamiento (descarga en archivos CSV, visualización de datos relevantes, clasificación temporal, etiquetado, etc.).
- Facturas de consumos de gas y electricidad.  
Ordenación y clasificación de los datos de consumos de gas y electricidad recogidos a través de facturas.
- Análisis y tratamiento de datos.  
Inicio de monitorizaciones, datos y fechas más importantes elegidas para el estudio (semana más fría, más calurosa, descensos bruscos de temperatura, etc.).

### **Equipos de medida y monitorización**

El sistema de monitorización empleado no ha incluido sensores en contadores de luz y electricidad o en tomas de corriente por cuestiones de presupuestos y costes, por ello los consumos de gas y electricidad se tienen que recoger por medio de facturas bimensuales (gas) y mensuales (electricidad), lo cual crea el problema de tener datos con dos escalas de tiempo muy diferentes. Por un lado datos de monitorizaciones con intervalos de tiempo muy pequeños (hasta de minutos) y facturas de gas y electricidad mensuales y bimensuales.

### **Sistema de monitorización**

El sistema de monitorización está basado en dispositivos de medida con transmisión de radio mediante protocolo LoRaWAN (Low Power Wide Area Network) empleado para comunicar redes de baja potencia y área amplia.

Los dispositivos que actúan como sensores recogen los datos que son transmitidos utilizando el protocolo LoRaWAN a un Gateway, y este mediante un router 3G con acceso a internet los envía a un servidor en donde son procesados y almacenados, permitiendo acceder a ellos y visualizarlos gráficamente mediante el software Grafana [11].





### Ubicación e instalación de equipos

El router y el Gateway han sido instalados en el salón-comedor de la vivienda intermedia de la tercera planta, 3ª puerta. Piso etiquetado como P2 (3º-3ª).



Figura 16. Router y Gateway en piso P2 (3º-3ª)

Los sensores de temperatura, humedad y CO<sub>2</sub> se han situado en los salones de las viviendas monitorizadas.

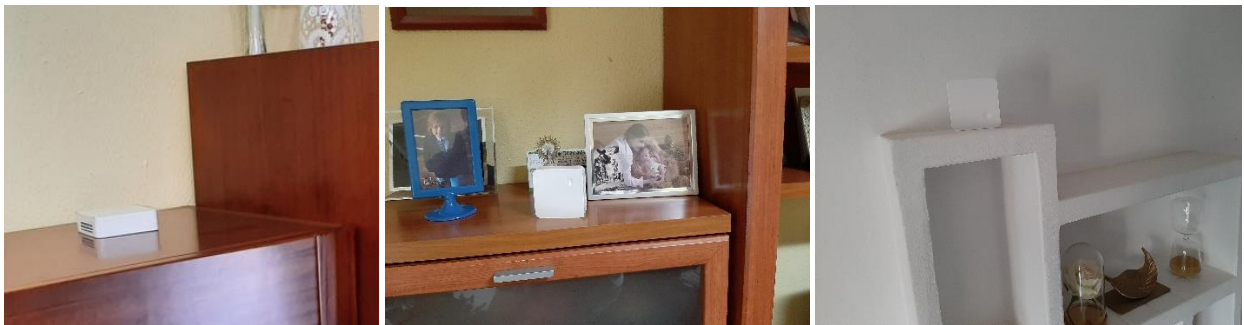


Figura 17. Sensores ELSYS ERS en pisos primera planta P3 (1º-1ª), planta intermedia P1 (3º-3ª) y bajo cubierta P1 (5º-3ª)

El sensor de temperatura y humedad exterior se encuentra situado en la parte inferior del voladizo que hay encima de la puerta de acceso a la comunidad.



Figura 18. Sensor exterior

## Recopilación de datos monitorizados. Grafana.

Grafana [11] es la plataforma de código abierto, utilizada para la recogida, visualización y gestión de los datos obtenidos mediante los sensores instalados en la parte exterior del edificio y en las viviendas de muestra.

### Variables monitorizadas. Pantallas de Grafana y datos monitorizados

Desde esta plataforma se pueden almacenar y consultar los datos correspondientes a:

- Temperatura. Temperatura en cada una de las viviendas de muestra y la exterior al edificio.
- Humedad. En cada una de las viviendas de muestra y en el exterior del edificio.
- Niveles de concentración de CO2 en cada una de las tres viviendas de muestra.

La Figura 19 muestra la interfaz del programa donde aparecen graficados los datos de los parámetros anteriormente mencionados. Los datos recabados se almacenan en una base de datos y es posible descargarlos a un archivo CSV.



Figura 19. Interfaz de Grafana

El software permite diferentes tratamientos con los datos recopilados, aquí se nombran únicamente aquellas posibilidades más interesantes y utilizadas en el tratamiento de los datos monitorizados.

- Visualización gráfica de los datos monitorizados en el edificio (Figura 19).
- Selección de fechas que se quieren ver representadas (Figura 20).
- Visualización del valor de datos graficados en una fecha y hora concreta (Figura 21).
- Elección de la escala temporal de representación de las monitorizaciones. Se pueden visualizar datos desde cada 5 minutos a cada 5 años.
- Descarga en diferentes formatos (CSV, JSON) de datos seleccionados (Figura 20).
- Enlazar por medio de un link el periodo graficado.

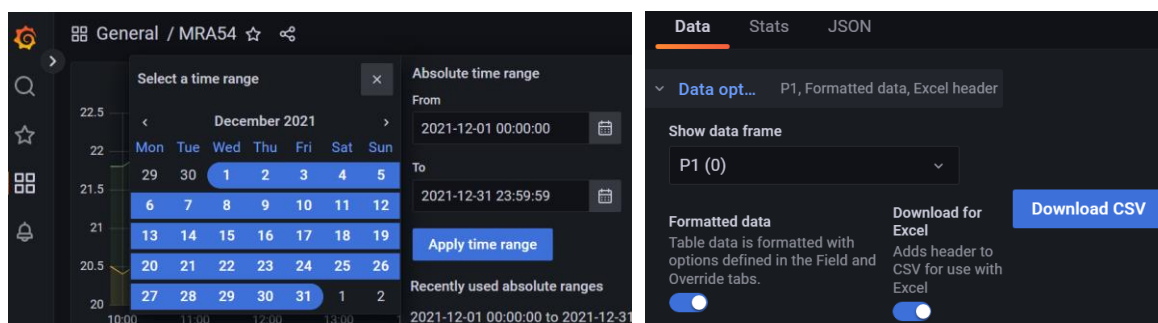


Figura 20. Selección del Periodo temporal a representar y descarga de datos

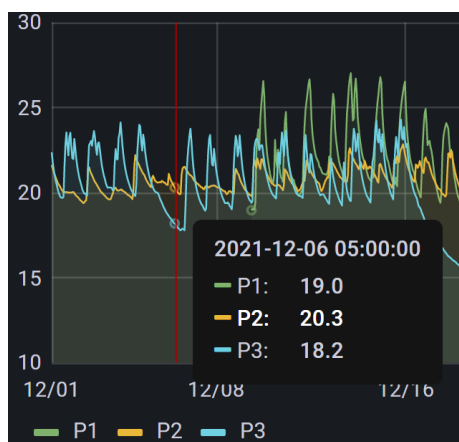


Figura 21. Visualización concreta de un punto

### Etiquetado de datos en Grafana

En el punto “*etiquetado de viviendas seleccionadas*” de la sección “*Selección y características de tres viviendas del inmueble objeto del estudio*” (Anexo II *Viviendas Monitorizadas*) se indicó la codificación seguida al trabajar con los datos recopilados en cada vivienda. La representación gráfica en Grafana sigue esa misma codificación. Los datos representados vienen etiquetados por un color y un par de caracteres (una letra y un número) tal como se indica a continuación:

- Los datos de las magnitudes físicas monitorizadas en la vivienda de la quinta planta, puerta tercera se representan en color **verde** y caracteres **P1**.
- Los datos de la vivienda situada en la planta tercera, puerta tercera vienen en color **marrón** claro y codificados como **P2**.
- Los datos graficados en **azul** claro y caracteres **P3** corresponden a la vivienda de la primera planta, primera puerta.
- Los datos de temperatura exterior vienen etiquetados en color **rojo** y palabras **Temperatura Exterior**.
- Los datos de humedad exterior vienen etiquetados en color azul y palabras Humedad Exterior.

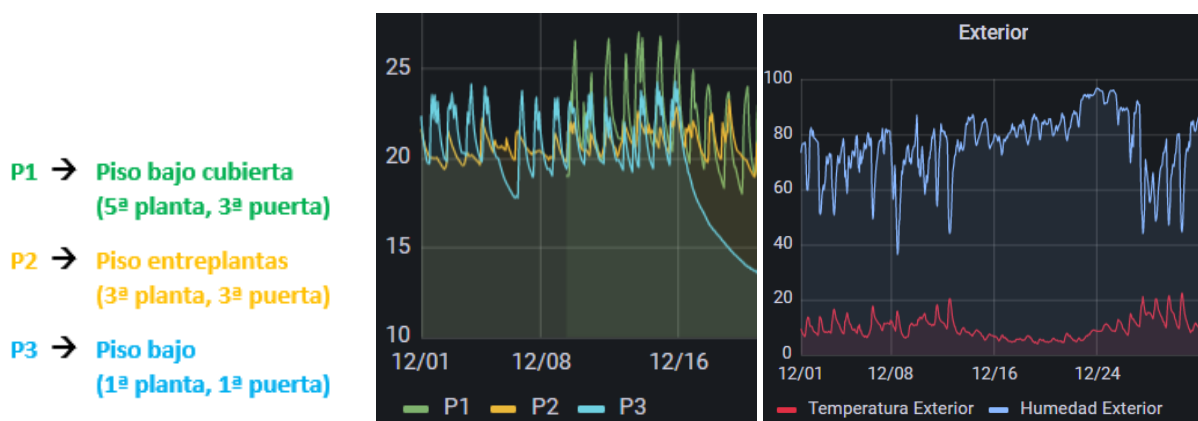


Figura 22. Codificación de datos en Grafana

### Facturas de consumos de gas y electricidad

Los consumos de las facturas de gas y electricidad se pueden ver en el libro Excel: *Consumos - Resultados y Comparaciones*.

Como ya se ha indicado, las limitaciones presupuestarias no han permitido la colocación de sensores en contadores de luz y electricidad o en tomas de corriente. Con lo que los consumos de gas y electricidad se recogen por medio de facturas bimensuales (gas) y mensuales (electricidad) lo que obliga a realizar análisis

con escalas temporales diferentes, no pudiendo precisar el gasto energético en un periodo de tiempo corto y estando obligado a realizar estimaciones y suposiciones que restan exactitud a los resultados.

Las facturas recogidas se han contabilizado a partir del verano de 2019, un año un antes de comenzar las obras de rehabilitación, y se han organizado en función de dichas obras. Se han clasificado en tres periodos:

- **1er periodo.** Llamado **Facturas año edificio sin rehabilitar**. Son las facturas de consumos de gas y electricidad previos a las obras de mejoras del edificio. Comprende las facturas desde la segunda quincena de julio de 2019 hasta la segunda quincena de julio de 2020.
- **2do periodo.** Llamado **Año obras rehabilitación**. Facturas de consumos mientras se realizan las obras en el edificio. Comprenden facturas desde la segunda quince de julio de 2020 hasta la segunda quincena de julio de 2021
- **3er periodo.** Llamado **Año edificio rehabilitado**. Consumos realizados con el edificio totalmente rehabilitado. Incluyen las facturas que van desde la segunda quince de julio de 2021 hasta la segunda quincena de julio de 2022, últimas facturas conseguidas de dos de las viviendas monitorizadas.

En la organización de los consumos facturados también se han señalado dos sucesos significativos; el inicio de la **Pandemia** en marzo de 2020 y el inicio de la **Guerra** contra Ucrania en febrero de 2022.

Estas facturas con las fechas exactas de inicio y fin y los consumos correspondientes son las que se muestran en Tabla 9 y Tabla 10

Las monitorizaciones realizadas junto a las entrevistas mantenidas con los vecinos de las viviendas de muestra son una herramienta útil para entender datos discordantes recogidos en facturas y secundar conclusiones y aseveraciones realizadas en algunos de los análisis que se muestran en la sección *Análisis realizados y resultados obtenidos* (Anexo IV *Análisis realizados y resultados obtenidos*); datos como grandes consumos de energía, tras la rehabilitación, en una de las viviendas monitorizadas.

### Facturas de consumos de gas natural

Como las facturas son cada 2 meses y las estaciones cada 3 meses, se muestran veranos e inviernos “de cuatro meses” (periodos más significativos en los consumos de gas) mientras que los otoños y primaveras son de 2 meses.

Consumos GAS Facturados de Fecha inicio a Fecha fin		CONSUMO GAS							
		P1 (5º-3º)		P2 (3º-3º)		P3 (1º-1º)			
		m <sup>3</sup>	kWh	m <sup>3</sup>	kWh	m <sup>3</sup>	kWh		
17/05/2019	19/07/2019		126		23		138	Verano 2019	Año Edificio SIN rehabilitar
19/07/2019	23/09/2019		115		12		93		
23/09/2019	20/11/2019		439		220		475		
20/11/2019	22/01/2020	199	2.299		1.149	127	1.474	Invierno 19-20	
22/01/2020	23/03/2020	141	1.623		520	182	2.105		
23/03/2020	21/05/2020	42	483		173	6	69	PANDEMIA	
21/05/2020	23/07/2020	23	265		46	7	81	Verano 2020	
23/07/2020	18/09/2020	13	149	3	35	4	46		
18/09/2020	19/11/2020	24	275	15	173	59	680	Invierno 20-21	
19/11/2020	30/01/2021	108	1.242	94	1.086	226	2.612		
30/01/2021	25/03/2021	70	803	18	207	110	1.268		
25/03/2021	20/05/2021	39	447	4	46	50	576		
20/05/2021	20/07/2021	25	288	2	23	7	81	Verano 2021	
20/07/2021	21/09/2021	20	230	1	12	3	35		
21/09/2021	30/09/2021	4	46	3	35	6	67	Año edificio rehabilitado	
30/09/2021	22/11/2021	30	345	23	266	34	395		
22/11/2021	24/01/2022	209	2.403	27	312	147	1.698		Invierno 21-22
24/01/2022	22/03/2022	70	802	43	495	114	1.312		
22/03/2022	23/05/2022	38	434	10	115	42	482		GUERRA
23/05/2022	25/07/2022	18	206	1	11	4	46		
25/07/2022	21/09/2022	17	195	1	12	3	35	Verano 2022	

Tabla 9. Facturas de consumos de gas

## Facturas de consumos eléctricos

Estas facturas son mensuales y la principal dificultad para su clasificación y utilización en los periodos señalados radica en que las fechas de facturación no coinciden en las viviendas.

Consumos ELECTRICIDAD P3 (1ª - 1ª)				Consumos ELECTRICIDAD P2 (3ª - 3ª)				Consumos ELECTRICIDAD P1 (5ª - 3ª)				
Nº Días	Consumos de Fecha inicio a Fecha fin	Consumo total ELECTRICIDAD (Wh)	Consumo medio (kWh/día)	Nº Días	Consumos de Fecha inicio a Fecha fin	Consumo total ELECTRICIDAD (Wh)	Consumo medio (kWh/día)	Nº Días	Consumos de Fecha inicio a Fecha fin	Consumo total ELECTRICIDAD (Wh)	Consumo medio (kWh/día)	
27	12/06/2019 09/07/2019	165.000	6,11	27	12/06/2019 09/07/2019	128.000	4,74	27	16/06/2019 13/07/2019	157.000	5,81	Verano 2019
34	09/07/2019 12/08/2019	207.000	6,09	34	09/07/2019 12/08/2019	127.000	3,74	32	13/07/2019 14/08/2019	155.000	6,09	
29	13/08/2019 10/09/2019	130.000	4,48	29	12/08/2019 10/09/2019	109.000	3,76	31	14/08/2019 14/09/2019	132.000	4,26	
30	10/09/2019 10/10/2019	144.000	4,80	30	10/09/2019 10/10/2019	155.000	5,17	29	14/09/2019 13/10/2019	103.000	3,55	
96	10/10/2019 12/11/2019	146.000	4,42	83	10/10/2019 12/11/2019	128.000	3,88	93	13/10/2019 17/11/2019	147.000	4,20	Otoño 2019
33	12/11/2019 15/12/2019	117.000	3,55	20	12/11/2019 02/12/2019	77.000	3,85	29	17/11/2019 16/12/2019	152.000	5,24	
29	15/12/2019 13/01/2020	80.000	2,76	27	03/12/2019 30/12/2019	78.000	2,89	30	16/12/2019 15/01/2020	241.400	8,05	
30	13/01/2020 12/02/2020	125.000	4,17	33	30/12/2019 01/02/2020	195.000	5,91	32	15/01/2020 16/02/2020	241.000	7,53	Invierno 19-20
28	12/02/2020 11/03/2020	106.000	3,79	28	01/02/2020 29/02/2020	166.000	5,93	27	16/02/2020 14/03/2020	138.187	5,12	
34	14/03/2020 14/04/2020	132.000	3,88	31	29/02/2020 31/03/2020	207.000	6,68	32	14/03/2020 13/04/2020	82.665	2,58	PAÑDEMA
91	14/04/2020 12/05/2020	71.000	2,54	90	31/03/2020 03/05/2020	251.000	7,61	92	28/15/04/2020 13/05/2020	131.282	4,69	Primavera 2020
29	12/05/2020 10/06/2020	110.000	3,79	26	03/05/2020 29/05/2020	178.000	6,85	32	13/05/2020 14/06/2020	196.666	6,15	
91	10/06/2020 11/07/2020	128.000	4,13	31	29/05/2020 29/06/2020	155.000	4,95	90	14/06/2020 14/07/2020	203.323	6,78	
91	11/07/2020 12/08/2020	187.000	5,84	94	33/29/06/2020 01/08/2020	130.000	3,94	92	14/07/2020 15/08/2020	385.671	12,05	Verano 2020
28	13/08/2020 09/09/2020	146.000	5,21	30	01/08/2020 31/08/2020	132.000	4,40	30	15/08/2020 14/09/2020	209.141	6,97	
33	09/09/2020 12/10/2020	131.000	3,97	29	31/08/2020 29/09/2020	181.000	6,24	31	14/09/2020 15/10/2020	110.813	3,57	
96	12/10/2020 11/11/2020	125.000	4,17	90	33/29/09/2020 01/11/2020	195.000	5,91	92	15/10/2020 16/11/2020	133.865	4,12	Otoño 2020
33	11/11/2020 14/12/2020	139.000	4,21	28	01/11/2020 29/11/2020	174.000	6,21	29	16/11/2020 15/12/2020	110.075	3,80	
31	14/12/2020 14/01/2021	109.000	3,52	34	29/11/2020 01/01/2021	147.000	4,32	34	15/12/2020 18/01/2021	138.251	4,07	
27	14/01/2021 10/02/2021	88.000	3,26	29	02/01/2021 31/01/2021	113.000	3,90	27	18/01/2021 14/02/2021	50.000	1,85	Invierno 20-21
28	10/02/2021 10/03/2021	117.000	4,18	28	31/01/2021 28/02/2021	98.000	3,50	28	14/02/2021 14/03/2021	146.000	5,21	
35	10/03/2021 14/04/2021	131.000	3,74	35	28/02/2021 04/04/2021	119.000	3,40	35	14/03/2021 18/04/2021	137.838	3,94	
91	14/04/2021 12/05/2021	108.000	3,86	120	28/04/2021 02/05/2021	97.000	3,46	91	28/18/04/2021 16/05/2021	124.571	4,45	Primavera 2021
19	12/05/2021 31/05/2021	71.000	3,74	29	02/05/2021 31/05/2021	111.000	3,83	15	16/05/2021 31/05/2021	57.807	3,85	
9	31/05/2021 09/06/2021	39.057	4,34	28	31/05/2021 28/06/2021	127.526	4,55	13	31/05/2021 13/06/2021	53.734	4,13	
94	09/06/2021 11/07/2021	137.416	4,29	33	28/06/2021 31/07/2021	155.637	4,72	28	13/06/2021 11/07/2021	237.503	8,48	
35	07/08/2021 11/09/2021	155.022	4,43	93	30/31/07/2021 30/08/2021	141.011	4,70	92	33/11/07/2021 13/08/2021	330.619	10,02	Verano 2021
30	11/09/2021 11/10/2021	116.363	3,88	30	30/08/2021 29/09/2021	121.227	4,04	31	13/08/2021 13/09/2021	175.694	5,67	
94	10/10/2021 10/11/2021	106.368	3,55	32	29/09/2021 31/10/2021	144.734	4,52	33	13/09/2021 16/10/2021	115.832	3,51	
34	10/11/2021 14/12/2021	131.132	3,86	94	27/31/10/2021 27/11/2021	125.715	4,66	93	29/16/10/2021 14/11/2021	95.404	3,29	Otoño 2021
29	14/12/2021 12/01/2022	90.208	3,11	35	27/11/2021 01/01/2022	159.395	4,55	31	14/11/2021 15/12/2021	142.391	4,59	
28	12/01/2022 09/02/2022	104.914	3,75	29	01/01/2022 30/01/2022	137.467	4,74	32	15/12/2021 16/01/2022	128.395	4,01	
26	09/02/2022 07/03/2022	90.250	3,47	28	30/01/2022 27/02/2022	133.196	4,76	26	16/01/2022 11/02/2022	102.505	3,94	Invierno 21-22
96	11/04/2022 09/05/2022	123.505	3,53	31	27/02/2022 30/03/2022	143.596	4,63	30	11/02/2022 13/03/2022	123.577	4,13	GUERRA
33	09/05/2022 11/06/2022	121.739	3,69	91	32/30/03/2022 01/05/2022	140.478	4,39	35	13/03/2022 17/04/2022	124.536	3,56	Primavera 2022
30	11/06/2022 11/07/2022	142.252	4,74	29	01/05/2022 30/05/2022	137.459	4,74	92	26/17/04/2022 13/05/2022	84.073	3,23	
95	11/07/2022 09/08/2022	174.979	6,03	30	30/05/2022 29/06/2022	170.453	5,68	31	13/05/2022 13/06/2022	113.173	3,65	
36	09/08/2022 14/09/2022	159.451	4,43	31	31/29/06/2022 30/07/2022	201.782	6,51	92	30/13/06/2022 13/07/2022	176.365	5,88	Verano 2022
								32	13/07/2022 14/08/2022	315.858	9,87	
								30	14/08/2022 13/09/2022	117.086	3,90	

Tabla 10. Facturas de consumos de electricidad

## Análisis y tratamiento de datos

### Temporización obras rehabilitación

Fechas donde se llevaron a cabo las intervenciones:

- CUBIERTA: Reparación y aislamiento de cubierta a lo largo de noviembre/diciembre 2020.
- SATE: Colocación de SATE en fachada principal y trasera desde octubre 2020 hasta enero 2021.
- DOBLES VENTANAS: Colocación de dobles ventanas a lo largo de todo el mes de mayo 2021.
- AISLAMIENTO TECHO LOCAL: Colocación de falso techo con aislamiento en el local a principios del mes de julio 2021.

### Inicio de monitorizaciones.

- Fecha primera monitorización: 30/03/2021 a las 2h00

### Análisis realizados

El estudio de la eficiencia energética del edificio y el impacto que supone la mejora del aislamiento térmico, se ha realizado en base a diferentes análisis sobre las viviendas monitorizadas. Análisis que se pueden consultar en la siguiente sección *Análisis realizados y resultados obtenidos* (Anexo IV *Análisis realizados y resultados obtenidos*).

Los análisis realizados son:

- Comportamiento de las viviendas en la semana más fría (invierno 2021-22)
  - Confort y desconfort térmico (invierno)
  - Comparación condiciones de confort térmico viviendas en semana más fría con vivienda sin rehabilitar

- Análisis de la velocidad de enfriamiento
- Comparación comportamiento semana más fría con vivienda sin rehabilitar
- Análisis del comportamiento térmico de las viviendas ante un cambio brusco de temperatura exterior
  - Descenso brusco de temperaturas en el exterior
  - Comparación con vivienda sin rehabilitar
- Análisis del comportamiento de viviendas en verano con y sin sistemas de refrigeración
- Análisis del comportamiento térmico de viviendas en días más cálidos (verano 2022)
  - Confort y desconfort térmico (verano)
  - Comparación comportamiento semana de altas temperaturas con vivienda sin rehabilitar
- Análisis termográfico
- Efectos Pandemia y Guerra
  - Consumo eléctrico. Pandemia
  - Consumo de gas. Pandemia
  - Consumo eléctrico. Guerra
  - Consumo de gas. Guerra
- Consumos anuales de gas
  - Consumo TOTAL de gas
  - Consumo de gas para ACS.
  - Consumo de gas para calefacción
- Consumos anuales de electricidad
  - Consumo TOTAL de electricidad
  - Consumo de electricidad para refrigeración
  - Consumo de electricidad para calefacción
- Emisiones anuales de CO2
  - Emisiones anuales de CO2 por consumo de gas
  - Emisiones anuales de CO2 debidas al ACS (gas)
  - Emisiones anuales de CO2 debidas a la calefacción (gas)
  - Emisiones anuales de CO2 por consumo eléctrico
  - Emisiones anuales de CO2 por consumos de los sistemas de refrigeración (electricidad)

Dado que al inicio de las monitorizaciones ya estaban realizadas la mayor parte de las intervenciones del aislamiento de la envolvente, la comparación de datos y evaluación de las mejoras vendrá de:

- El estudio de los consumos de gas y electricidad, reflejados en facturas, antes y después de las mejoras de la envolvente del edificio.
- La utilización, como referencia comparativa, de los datos de una vivienda bajo cubierta de un edificio sin rehabilitar. Datos provenientes de un proyecto previo de monitorización titulado “Estudio del comportamiento de la lana de roca en rehabilitaciones energéticas de viviendas en el barrio de Balsas de Ebro Viejo (Zaragoza)” realizado por arquitectos pertenecientes a un equipo investigador de la universidad de zaragoza realizado en 2020 [15]. Dicho estudio se menciona con más detalle en el apartado *Estudio previo. Monitorización vivienda no rehabilitada* de la sección *Viviendas Monitorizadas* (Anexo II *Viviendas Monitorizadas*).

Como ya se ha indicado, los detalles y estudio de los diferentes análisis realizados se encuentran en la siguiente sección. *Análisis realizados y resultados obtenidos*. (Anexo IV *Análisis realizados y resultados obtenidos*)

## ANEXO IV TFM Análisis realizados y resultados obtenidos

En esta sección se llevará a cabo la interpretación, estudio, análisis y comparación de los datos obtenidos antes y después de la rehabilitación en monitorizaciones y facturas.

Todos los cálculos realizados se encuentran en las diferentes hojas del [libro Excel: Análisis comportamientos térmicos viviendas.xlsx](#).

### **ANÁLISIS Y RESULTADOS OBTENIDOS**

El estudio del comportamiento térmico del edificio se realiza a partir del análisis de los consumos de gas y electricidad indicados en facturas y por los datos arrojados por las monitorizaciones de las tres viviendas seleccionadas y comparando los resultados de unas con otras. El análisis se centra en los aspectos más importantes ya señalados en la sección anterior *Recopilación de Datos (Anexo III Recopilación de Datos)*, es decir sobre los siguientes análisis:

- Comportamiento de las viviendas en la semana más fría (invierno 2021-22)
  - Confort y discomfort térmico (invierno)
  - Comparación condiciones de confort térmico viviendas en semana más fría con vivienda sin rehabilitar
  - Análisis de la velocidad de enfriamiento
  - Comparación comportamiento semana más fría con vivienda sin rehabilitar
- Análisis del comportamiento térmico de las viviendas ante un cambio brusco de temperatura exterior
  - Descenso brusco de temperaturas en el exterior
  - Comparación con vivienda sin rehabilitar
- Análisis del comportamiento de viviendas en verano con y sin sistemas de refrigeración
- Análisis del comportamiento térmico de viviendas en días más cálidos (verano 2022)
  - Confort y discomfort térmico (verano)
  - Comparación comportamiento semana de altas temperaturas con vivienda sin rehabilitar
- Análisis termográfico
  - Puentes térmicos
  - Comparaciones
- Consumos anuales de gas
  - Consumo TOTAL de gas
  - Consumo de gas para ACS.
  - Consumo de gas para calefacción
- Consumos anuales de electricidad
  - Consumo TOTAL de electricidad
  - Consumo de electricidad para refrigeración
  - Consumo de electricidad para calefacción
- Emisiones anuales de CO2
  - Emisiones anuales de CO2 por consumo de gas
  - Emisiones anuales de CO2 debidas al ACS (gas)
  - Emisiones anuales de CO2 debidas a la calefacción (gas)
  - Emisiones anuales de CO2 por consumo eléctrico
  - Emisiones anuales de CO2 por consumos de los sistemas de refrigeración (electricidad)
- Efectos Pandemia y Guerra
  - Consumo eléctrico. Pandemia
  - Consumo de gas. Pandemia
  - Consumo eléctrico. Guerra



- Consumo de gas. Guerra

En la elección de los periodos seleccionados para cada caso de estudio se han priorizado, al menos, tres requisitos:

- Periodo de tiempo donde la climatología y el calendario fuera acorde a los requisitos enunciados (mínimas o máximas temperaturas exteriores, cambios bruscos de temperatura exterior, cambio de estación, etc.).
- Las tres viviendas tipo ocupadas.
- Los sensores en las viviendas de muestra operativos y recogiendo datos.

### Limitaciones en los análisis

La principal limitación con la que se enfrenta este TFM a la hora de analizar los resultados obtenidos y evaluar el ahorro energético conseguido con el aislamiento de la envolvente del edificio parten del hecho de que cuando comenzaron las monitorizaciones en las viviendas de muestra, la mayor parte de las intervenciones ya estaban realizadas con lo que los únicos registros, anteriores a la rehabilitación del edificio, son los consumos de gas y electricidad obtenidos por medio de las facturas. Estas facturas serán las herramientas que se utilicen en la medición de la eficiencia de la envolvente tras su aislamiento térmico.

Otra dificultad radica en que no siempre ha sido posible la elección del periodo más representativo del aspecto que se quería analizar ya que en algunas ocasiones ha habido problemas con las sondas (no medían correctamente, dejaban de medir o se agotaba la batería) y no siempre ha sido posible solucionar dichos problemas (inconvenientes para ponerse en contacto con los inquilinos y acceder a las sondas).

Otro inconveniente ha sido que la sonda de monitorización, en la vivienda bajo cubierta P1, no recoge las variaciones de temperatura del sistema de refrigeración móvil de la vivienda al encontrarse ambos en estancias diferentes.

### Estudio previo. Monitorización vivienda no rehabilitada

Debido a las limitaciones en la monitorización del edificio de Manuel Rodríguez Ayuso N.º 54, no se disponen de datos de monitorizaciones anteriores a la rehabilitación, ni se ha podido realizar una comparativa entre viviendas rehabilitadas y no rehabilitadas.

Para poder comparar los resultados de los diferentes análisis de este apartado con una vivienda sin aislar, se han utilizado los datos recogidos en un estudio previo realizado en la misma ciudad y sobre un edificio de características similares. *“Estudio del comportamiento de la lana de roca en rehabilitaciones energéticas de viviendas en el barrio de Balsas de Ebro Viejo (Zaragoza)”* [16].

Dicho Proyecto fue realizado por arquitectos vinculados a un equipo investigador de la universidad de Zaragoza cuando se realizó el trabajo de investigación en 2020. El objetivo principal fue estudiar, analizar y cuantificar el impacto que supone la mejora del aislamiento térmico (SATE) en edificios residenciales, comparando dos bloques originalmente idénticos en construcción, habiendo sido uno de ellos rehabilitado recientemente mientras el otro se conserva en el estado inicial. Las monitorizaciones que se van a tomar como referencia en este TFM son las realizadas sobre una vivienda situada bajo cubierta del bloque sin rehabilitar.

El edificio de la Avda. Manuel Rodríguez Ayuso comparte muchas similitudes con los bloques del estudio. Ambos edificios comparten igual zona climática (Zaragoza), número de plantas y antigüedad (construidos ambos en la década de 1960) siendo las soluciones constructivas de su envolvente muy similares. La orientación y tamaño, aunque no iguales, no difieren en exceso.

Aunque la comparación entre las viviendas de ambos bloques tiene sus limitaciones será suficiente para demostrar el impacto positivo de las mejoras energéticas introducidas en el edificio de estudio.

## Perfil edificio y vivienda sin rehabilitar

De acuerdo al informe del estudio previo [16], las características del bloque sin rehabilitar y de la vivienda monitorizada (y no rehabilitada) son:

- Edificio residencial con planta baja más 4 plantas (5 plantas en total).
- Piso bajo cubierta.
- Monitorizaciones exteriores de temperatura y humedad.
- Monitorización en interior vivienda de temperatura, humedad y CO<sub>2</sub>
- Sistema de climatización de vivienda por gas.
- Monitorización de consumos de electricidad y gas.
- Tamaño de la vivienda inferior a 60 m<sup>2</sup>

Para identificar esta vivienda de referencia se ha etiquetado como: **VSR (4<sup>º</sup>-4<sup>ª</sup>)** (Vivienda Sin Rehabilitar piso 4<sup>º</sup>, puerta 4<sup>ª</sup>).

### Condiciones de confort térmico

Si se definen las condiciones de confort térmico como aquellas condiciones ideales en las que el cuerpo humano, con ropa ligera y poca actividad, no requiere de gastos energéticos para permanecer confortable, estas condiciones se darían para la mayoría de los seres humanos en una zona delimitada por valores de temperatura entre 21 y 26 °C y valores de humedad relativa entre 20% y 70% [17].

En la misma línea se encuentran los criterios de confort según los señalan las instrucciones técnicas de diseño y funcionamiento del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (IT 1.1.4.1.2 del RITE) [18].

Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Tabla 11. Condiciones interiores de diseño

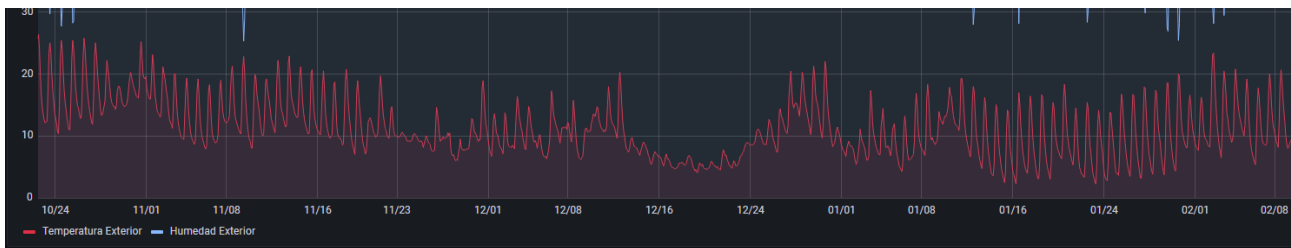
Aunque en la guía de aplicación del documento básico (DB HE) del 2019 en su versión de junio de 2022 [19] al hablar de confort y “consumo racional de energía manteniendo el confort de los ocupantes” señala: “Otros criterios más habituales de confort de la ciudadanía hoy en día, establecerían un mínimo de temperatura en invierno de 18 o incluso 20°C y en verano no permitirían periodos de oscilación libre que pudieran superar los 27°C.”

En varios de los análisis realizados, a lo largo de este TFM, se comparan los resultados monitorizados con las condiciones de confort térmico. En base a los trabajos antes mencionados, se considerarán condiciones de disconfort térmico temperaturas **por debajo de 20 °C en invierno y superiores a 26°C en verano**. Respecto a humedad en el interior de la vivienda, se considerarán condiciones de confort térmico a humedades relativas a las señaladas en el RITE (entre 45% y 60% en verano y entre 40% y 50% en invierno). Estos son los valores que se tendrán como referencia en los análisis en que se comparen resultados con las condiciones de confort térmico.

### Comportamiento de las viviendas en la semana más fría (invierno 2021-22)

Con este análisis se quiere estudiar el comportamiento de las viviendas en periodo frío observando las variaciones de temperatura en el interior de la vivienda respecto a temperaturas en el exterior-muy bajas. La semana elegida para el estudio es la semana comprendida entre el 13 y 20 de diciembre de 2021

Los datos monitorizados, gráficas y cálculos se encuentran en el libro Excel: *Análisis comportamientos térmicos viviendas.xlsx*.



Gráfica 1. Temperaturas exteriores del invierno 2021-22



Gráfica 2. Temperaturas exteriores semana más fría del invierno (diciembre 2021)

	Exterior vivienda	Tª P1 (5º-3ª)	Tª P2 (3º-3ª)	Tª P3 (1º-1ª)
Tª máxima (°C)	9,89	27,10	23,30	24,60
Tª mínima (°C)	3,93	18,00	18,90	13,40
Tª promedio (°C)	6,31	22,03	21,08	18,10
Desviación típica	1,40	2,15	0,87	3,34

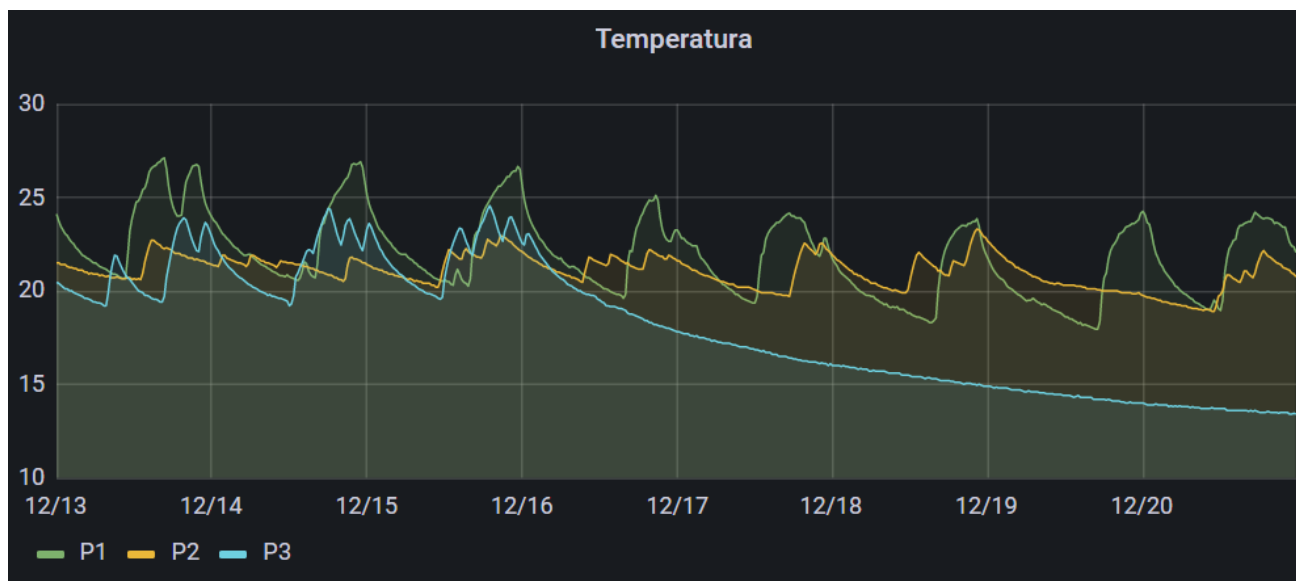
Tabla 12. Variación de temperaturas en la semana más fría

En esta semana la temperatura exterior mínima ha sido de 3,9°C, la máxima de 9,9°C siendo la media de 6,3°C y la desviación 1.4 lo cual muestra una semana muy regular con pocas variaciones entre temperaturas máximas y mínimas; días donde el nivel de humedad exterior se ha mantenido muy alto (entre el 73% y el 83%) característica de tiempo con niebla y baja radiación solar lo cual explica las bajas temperaturas durante las horas diurnas.

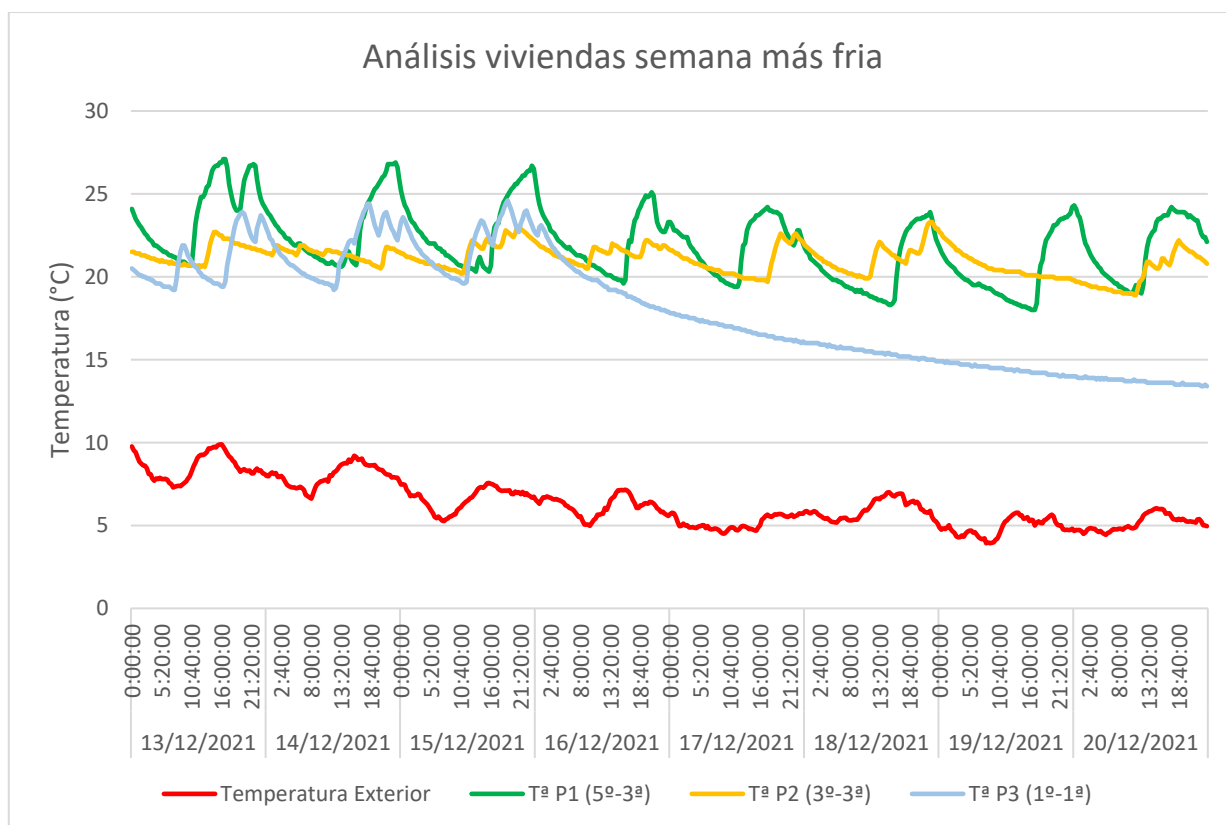


Gráfica 3. Humedad exterior en semana más fría

Este periodo resulta especialmente interesante al no verse afectadas las mediciones por calentamiento debido a la radiación solar; además, se cumplen otros dos factores que se analizan más adelante, (la desocupación de la vivienda P3 (1<sup>o</sup>-1<sup>a</sup>), que permite analizar su comportamiento estando vacía, y la bajada brusca de temperaturas el día 12 de diciembre donde las temperaturas descendieron más de 10 °C en poco tiempo).



Gráfica 4. Temperaturas en el interior de las viviendas rehabilitadas en semana más fría del invierno (diciembre 2021)



Gráfica 5. Temperaturas interiores y exterior semana más fría del invierno (diciembre 2021)

De acuerdo con la Gráfica 5 y la Tabla 12 se puede observar que la vivienda cuya temperatura permanece más estable es la P2 (3<sup>o</sup>-3<sup>a</sup>), los cual tiene sentido al ser la vivienda más protegida al encontrarse en una planta intermedia. También ayuda a esta estabilidad el hecho de ser la vivienda con una temperatura de consigna menor, observándose que en ningún momento la temperatura interna sube de los 23,3°C. Se aprecia igualmente como el termostato en esta vivienda activa el sistema de calefacción cuando la temperatura de la vivienda baja de los 20°C.

Las variaciones de temperatura en P2 (5<sup>o</sup>-3<sup>a</sup>) y P3 (1<sup>o</sup>-1<sup>a</sup>) son mayores observándose que los picos de temperatura alcanzados por la vivienda P2 (5<sup>o</sup>-3<sup>a</sup>) son muy elevados (hasta un máximo de 27,10°C) superando en buena parte de la semana los 25 °C. Esto explica porque esta vivienda tiene variaciones de temperatura tan elevadas y porque, como se verá más adelante, su gasto energético es muy superior al de las otras residencias.

También se puede apreciar en la *Gráfica 5* como a medida que bajan las temperaturas exteriores a lo largo de la semana, también bajan las temperaturas mínimas y medias en las viviendas P2 (5<sup>o</sup>-3<sup>a</sup>) y P2 (3<sup>o</sup>-3<sup>a</sup>) (P3 no es tenida en cuenta al estar la mitad de la semana desocupada).

### Confort y disconfort térmico (invierno)

De acuerdo con lo indicado en el apartado *Condiciones de confort térmico* se van a tomar como condiciones de disconfort térmico temperaturas por debajo de los 20 °C

Tª P1 (5 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )					Tª P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )					Tª P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> )				
Fecha	Periodo (h)	Periodo (min)	Temperaturas disconfort		Fecha	Periodo (h)	Periodo (min)	Temperaturas disconfort		Fecha	Periodo (h)	Periodo (min)	Temperaturas disconfort	
			Tª máxima (°C)	Tª mínima (°C)				Tª máxima (°C)	Tª mínima (°C)				Tª máxima (°C)	Tª mínima (°C)
021 14:00	14:00:00		19,9	19,6	17/12/2021 13:00	13:00:00		19,9	19,7	13/12/2021 2:40	2:40:00		19,9	19,2
16/12/2021 16:20	16:20:00				17/12/2021 17:40	17:40:00				13/12/2021 8:20	8:20:00			
	2:20:00	140				4:40:00	280				5:40:00	340		
021 9:00	9:00:00		19,8	19,4	18/12/2021 10:40	10:40:00		19,9	19,9	13/12/2021 13:20	13:20:00		19,9	19,4
021 12:40	12:40:00				18/12/2021 11:40	11:40:00				13/12/2021 17:00	17:00:00			
	3:40:00	220				1:00:00	60				3:40:00	220		
021 4:40	4:40:00		19,9	18,3	19/12/2021 20:40	20:40:00		19,9	18,9	14/12/2021 8:00	8:00:00		19,9	19,2
021 16:20	16:20:00				20/12/2021 12:20	12:20:00				14/12/2021 13:00	13:00:00			
	11:40:00	700				15:40:00	940				5:00:00	300		
021 4:20	4:20:00		19,9	18						15/12/2021 9:00	9:00:00		19,9	19,6
021 18:00	18:00:00									15/12/2021 12:00	12:00:00			
	13:40:00	820									3:00:00	180		
021 6:20	6:20:00		19,9	19						16/12/2021 9:20	9:20:00		19,9	19,2
021 12:40	12:40:00									16/12/2021 13:20	13:20:00			
	6:20:00	380									4:00:00	240		

Tabla 13. Disconfort térmico alcanzado en cada vivienda semana más fría

### Tiempo total en el que las viviendas están en disconfort térmico en la semana más fría del invierno.

De acuerdo a las fechas y tiempos en que cada vivienda está por debajo de 20 °C en la semana más fría (13 al 20 de diciembre) mostrados en la *Tabla 13* y la *Tabla 14*

	P1 (5 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )	P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )	P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> )	P1 respecto a P2 y P3
<b>Minutos totales con disconfort térmico</b>	2.260	1.280	1.280	77%
<b>Horas totales con disconfort térmico</b>	37:40:00	21:20:00	21:20:00	-43%

Tabla 14. Tiempo total en disconfort semana más fría y porcentajes comparativos entre viviendas

- La vivienda P2 (5<sup>o</sup>-3<sup>a</sup>) se encuentra dentro de las condiciones de confort térmico los tres primeros días de la semana y no es hasta el día 19 que la temperatura en esta vivienda no baja de 20°C en las horas nocturnas.
- En una comparación porcentual, P1 está 77% más tiempo en disconfort térmico respecto a P2 (3<sup>o</sup>-3<sup>a</sup>) y P3 (1<sup>o</sup>-1<sup>a</sup>); o lo que es lo mismo, P2 y P3 permanecen un 43% menos del tiempo en disconfort térmico respecto a P1.
- La vivienda P2 es la que menos estados tiene en condiciones de disconfort siendo de 5h y 40 minutos el tiempo total de disconfort los primeros seis días de la semana y no es hasta el último día de dicha semana en que el tiempo de disconfort se dispara igualándose al de la vivienda P1, esto se debe no solo a la bajada de las temperaturas según avanza la semana, también es debido, principalmente, a que la temperatura de consigna de arranque de sistema de calefacción en dicha vivienda ha bajado de los 20°C a los 19°C

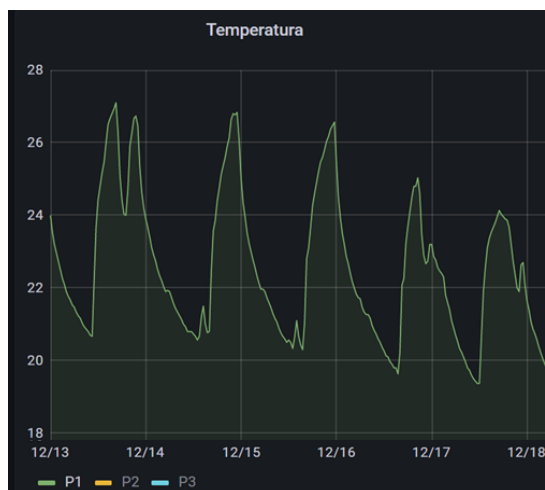
- En la vivienda P3 (1<sup>o</sup>-1<sup>a</sup>) solo se ha tenido en cuenta el periodo de tiempo en que está ocupada. En esos días ha experimentado 6 periodos de desconfort térmico principalmente por las mañanas, permaneciendo las horas nocturnas con temperaturas superiores a 20°C

### Caso particular vivienda P2 (5<sup>o</sup>-3<sup>a</sup>). Disconfort por elevadas temperaturas

Dadas las temperaturas que se alcanzan en la vivienda P1 durante la semana fría (con picos superiores a 27<sup>o</sup>) se ha evaluado el tiempo que en dicha vivienda se superan los 26°C (valores considerados como desconfort térmico como se señaló en el apartado *Condiciones de confort térmico*).

Tª P1 (5 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )				
			Temperaturas desconfort por ALTAS temperaturas	
Fecha	Periodo (h)	Periodo (min)	Tª máxima (°C)	Tª mínima (°C)
13/12/2021 14:20	14:20:00		27,1	26,4
13/12/2021 17:20	17:20:00			
	3:00:00	180		
13/12/2021 20:20	20:20:00		26,8	26,1
13/12/2021 22:20	22:20:00			
	2:00:00	120		
14/12/2021 21:00	21:00:00		26,9	26,1
14/12/2021 23:40	23:40:00			
	2:40:00	160		
15/12/2021 21:40	21:40:00		26,7	26,1
16/12/2021 0:00	0:00:00			
	2:20:00	140		

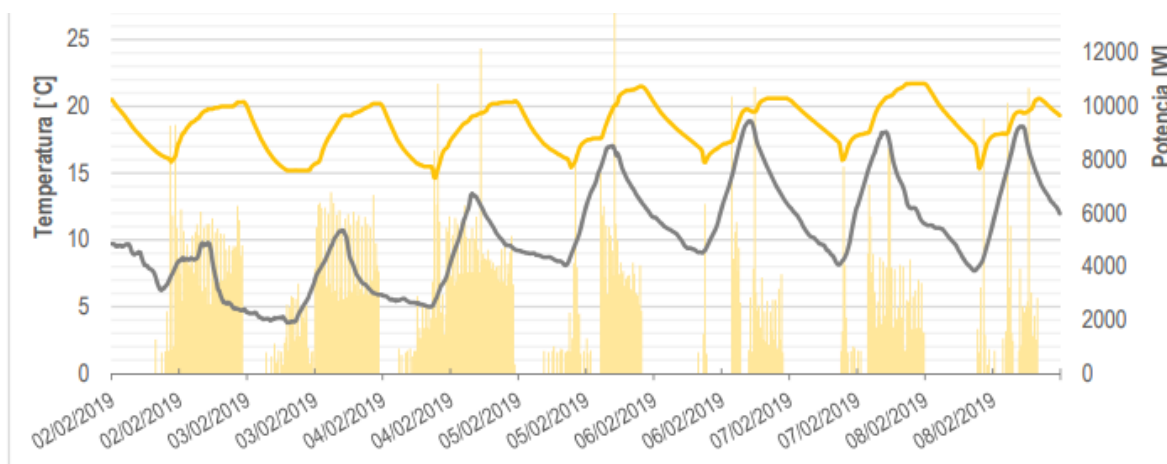
Tabla 15. Disconfort térmico alcanzado en vivienda P1 por altas temperaturas interiores en semana más fría



Gráfica 6. Temperaturas interiores vivienda P1 en semana más fría

De acuerdo con la *Tabla 15* y a la *Gráfica 6*, se ve como la vivienda P1 sufre de desconfort térmico por altas temperaturas (temperaturas mayores a 26°C) durante 10 horas a lo largo de la semana más fría del año. Estas altas temperaturas alcanzadas en el interior de vivienda, en pleno invierno, es a costa de un gasto energético elevado; este hecho, como se verá más adelante, será la principal causa de consumos excesivos en esta vivienda a pesar de la rehabilitación realizada.

## Comparación condiciones de confort térmico viviendas en semana más fría con vivienda sin rehabilitar



Gráfica 7. Evolución de temperaturas exteriores y en vivienda sin rehabilitar (semana del 2 al 8 de febrero 2019)

La Gráfica 7, obtenida del informe final del proyecto “Estudio del comportamiento de la lana de roca en rehabilitaciones energéticas de viviendas en el barrio de Balsas de Ebro Viejo (Zaragoza)” [16], muestra la evolución de temperaturas exteriores e interiores de una vivienda monitorizada y sin rehabilitar durante una semana de temperaturas bajas del invierno de 2019. Las características de esta vivienda y el bloque al que pertenece ya se mencionaron en el apartado *Estudio previo. Monitorización vivienda no rehabilitada* de la sección *Viviendas Monitorizadas* (Anexo II *Viviendas Monitorizadas*). El área marcada por las líneas doradas en la parte inferior del gráfico corresponde a la energía consumida en forma de gas natural por la vivienda sin rehabilitar.

De la Gráfica 7 se observa como la mayor parte de la semana las temperaturas en el interior de la vivienda se encuentran por debajo de las condiciones de confort térmico (20°C) siendo muy pocas las horas de la semana en que en esta se superan esos 20°C y no gracias al aporte energético de la caldera de la vivienda, sino al aumento de temperaturas en el exterior.

A partir de los datos de la Gráfica 7 se han elaborado las Tabla 16 y Tabla 17.

Tª VSR (4ª-4ª)			Temperaturas disconfort	
Fecha	Periodo (h)	Periodo (min)	Tª máxima (°C)	Tª mínima (°C)
02/02/2019 1:30	1:30:00		19,9	16
02/02/2019 17:30	17:30:00			
	16:00:00	960		
03/02/2019 0:30	0:30:00		19,9	15
03/02/2019 20:30	20:30:00			
	20:00:00	1200		
04/02/2019 0:30	0:30:00		19,9	14,5
04/02/2019 18:30	18:30:00			
	18:00:00	1080		
05/02/2019 0:30	0:30:00		19,9	15,5
05/02/2019 16:30	16:30:00			
	16:00:00	960		
06/02/2019 0:30	0:30:00		19,9	16
06/02/2019 16:30	16:30:00			
	16:00:00	960		
07/02/2019 1:30	1:30:00		19,9	16
07/02/2019 15:30	15:30:00			
	14:00:00	840		
08/02/2019 3:00	3:00:00		19,9	15
08/02/2019 18:30	18:30:00			
	15:30:00	930		

Tabla 16. Disconfort térmico alcanzado en vivienda sin rehabilitar (semana más fría)

	P1 (5 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )	P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )	P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> )	T <sup>a</sup> VSR (4 <sup>o</sup> -4 <sup>a</sup> )	Diferencia porcentual	
					P1 respecto a VSR	P2 y P3 respecto a VSR
Minutos totales con disconfort térmico	2.260	1.280	1.280	6.930	-67%	-82%
Horas totales con disconfort térmico	37:40:00	21:20:00	21:20:00	115:30:00	207%	441%

Tabla 17. Tiempo total en disconfort semana más fría y porcentajes comparativos entre viviendas rehabilitadas y VSR

Acorde a los datos recogidos y mostrados en la *Gráfica 7*, *Tabla 16* y *Tabla 17* se tiene que:

- Porcentualmente la vivienda sin rehabilitar (VSR), vivienda bajo cubierta, está un 207% más tiempo en disconfort térmico que la vivienda rehabilitada bajo cubierta P1 y un 441% respecto a las viviendas P2 y P3.  
O lo que es lo mismo:
- Las mejoras en el aislamiento de cerramientos y dobles ventanas efectuadas en las viviendas rehabilitadas han hecho posible que el porcentaje de horas en **disconfort se reduzcan un 67% y un 82%** respecto a la vivienda sin rehabilitación energética.

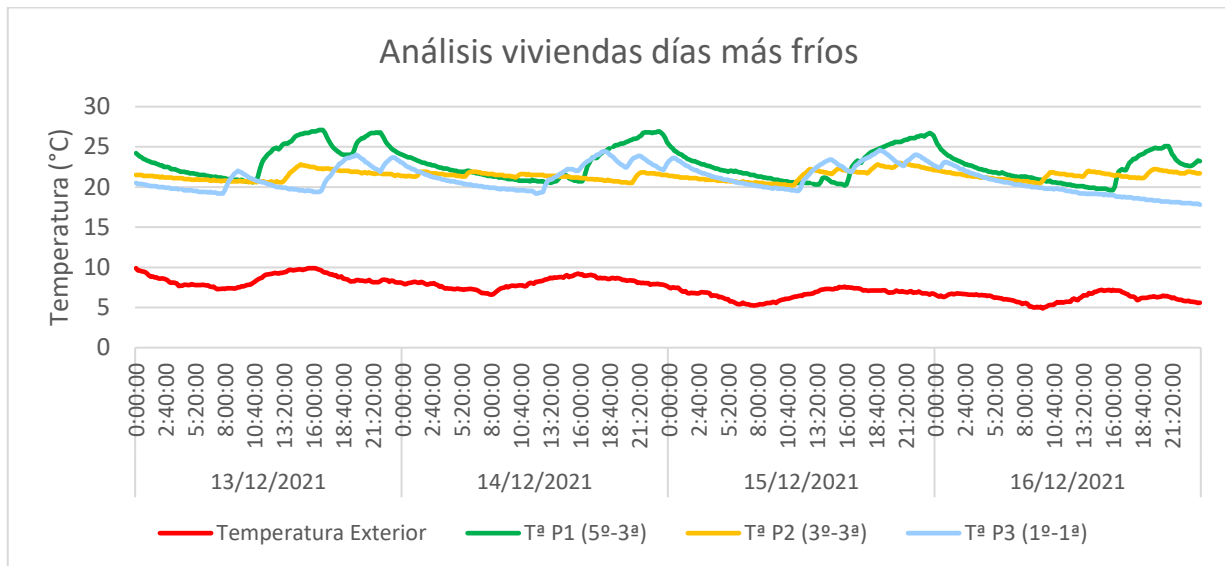
Más adelante se verá que la mejora en horas de confort térmico también lleva consigo un importante ahorro energético en cuanto a consumo de gas para calefacción.

### Análisis de la velocidad de enfriamiento

Una velocidad de enfriamiento baja significa una disminución de la temperatura a la hora baja y por tanto pocas pérdidas de calor y un menor consumo energético en climatización. En este apartado se va a evaluar la velocidad de enfriamiento en cada una de las viviendas seleccionadas en el edificio desde diferentes enfoques, viendo que factores hacen que dicha velocidad aumente o disminuya. También se van a comparar la pérdida de calor de las viviendas rehabilitadas con la vivienda sin rehabilitar que se presentó en el apartado *Estudio previo. Monitorización vivienda no rehabilitada*, de la sección *Viviendas Monitorizadas (Anexo II Viviendas Monitorizadas)*.

Para poder evaluar la velocidad de enfriamiento en las viviendas de muestra del bloque [descenso de temperaturas por hora ( $\Delta T/\Delta t$ )], se eligen los días **13, 14, 15 y 16 de diciembre de 2021** al ser los únicos días de la semana más fría del invierno en que las tres viviendas se encuentran ocupadas (ver *Gráfica 5*). A partir del día 16 la vivienda P3 (1<sup>o</sup>-1<sup>a</sup>) queda vacía hasta el 26 de diciembre tal y como reflejan los datos de temperatura monitorizados en dicha vivienda.





Gráfica 8. Variación de temperaturas días 13, 14, 15 y 16 de diciembre de 2021

	Exterior vivienda	Tª P1 (5º-3ª)	Tª P2 (3º-3ª)	Tª P3 (1º-1ª)
Tª máxima (°C)	9,89	27,10	23,00	24,60
Tª mínima (°C)	4,88	19,60	20,20	19,20
Tª promedio (°C)	7,35	22,88	21,42	21,39
Desviación típica	1,17	2,04	0,59	1,52

Tabla 18. Temperaturas 13 al 16 de diciembre de 2021

Se ha elegido una franja de 7 horas por la noche (franja horaria sin acción de la calefacción) el día 16 de diciembre al ser este el día cuyas temperaturas exteriores son más bajas.

El análisis de la velocidad media de enfriamiento ( $\Delta T/\Delta t$ ) nocturno del edificio se ha efectuado desde diferentes enfoques:

- Velocidad de enfriamiento partiendo de la misma temperatura interna en las tres viviendas (22°C) durante un periodo de 7h.
- Velocidad de enfriamiento partiendo del mismo periodo de tiempo en las tres viviendas (de 0:50:00 horas a 7:50:00) durante 7h.
- Velocidad de enfriamiento partiendo del mismo periodo de tiempo, en la misma vivienda, durante 7h y en días diferentes.

### Velocidad de enfriamiento partiendo de la misma temperatura interna en las tres viviendas (22°C) durante un periodo de 7h

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla siguiente:

Tª P1 (5º-3ª)			
Fecha	Periodo (h)	Temperatura (°C)	Descenso Tª (°C/h)
16/12/2021 4:40	4:40:00	22	
16/12/2021 11:40	11:40:00	20,4	
	7	-1,6	<b>-0,23</b>

Temperatura exterior (°C)		
Tª máxima	Tª mínima	Tª promedio
6,8	4,9	6,0

Tª P2 (3º-3ª)			
Fecha	Periodo (h)	Temperatura (°C)	Descenso Tª (°C/h)
16/12/2021 0:30	0:30:00	22	
16/12/2021 7:30	7:30:00	20,8	
	7	-1,2	<b>-0,17</b>

Tª P3 (1ª-1ª)			
Fecha	Periodo (h)	Temperatura (°C)	Descenso Tª (°C/h)
16/12/2021 2:40	2:40:00	22	
16/12/2021 9:40	9:40:00	19,9	
		7	-2,1
			<b>-0,30</b>

Tabla 19. Descenso de temperatura a la hora, partiendo de la misma temperatura interna en las tres viviendas (22°C) durante un periodo de 7h

Las temperaturas exteriores consignadas corresponden al periodo de tiempo comprendido entre la hora más temprana y la hora más tardía dentro de los tres periodos de 7 horas consignados en las viviendas.

La vivienda que muestra menores disminuciones en su temperatura interna es la vivienda P2. Esta variación es la que se va a tener como referente en la comparación con las otras dos viviendas.

Diferencia porcentual misma temperatura (22°C)	
P1 respecto a P2	P3 respecto a P2
33%	75%

Tabla 20. Diferencia porcentual misma temperatura inicial

De acuerdo a la *Gráfica 8*, *Tabla 18*, *Tabla 19* y *Tabla 20* se puede afirmar que:

- Como cabe esperar la vivienda que presenta mejores resultados es la vivienda intermedia P2 (3ª-3ª). También es el hogar cuya temperatura se mantiene más regular con una desviación igual a 0,59 (ver *Tabla 8*).
- El termostato en P2 (3ª-3ª) mantiene a esta vivienda entre los 20 °C y 23 °C la mayor parte de la semana. La vivienda P3 (1ª-1ª) es la que presenta peores resultados con una velocidad de enfriamiento 75% superior a la vivienda P2 (3ª-3ª).
- La vivienda P1 (5ª-3ª) muestra una velocidad de enfriamiento 33% superior a la vivienda P2.
- La vivienda P1 se mantiene entre 27,10 °C y 19,60 °C lo cual implica una gran irregularidad térmica (2,4 de desviación típica), **además de un consumo energético elevado**.
- En la vivienda P3 las temperaturas, mientras está ocupada, se mantienen entre 19,2°C y 24,6°C con una desviación intermedia de 1,52.
- En la *Gráfica 8* se puede apreciar como la pendiente descendente de temperaturas es mucho más suave en P2 que en los pisos P1 y P3, lo cual vuelve a indicar que la pérdida de calor en esta vivienda es menor a lo largo del tiempo que en P1 y P3.

### Velocidad de enfriamiento partiendo del mismo periodo de tiempo en las tres viviendas y durante 7h

El intervalo elegido en las tres viviendas es el comprendido entre las 0:50:00 horas y las 7:50:00. Durante este tiempo las calderas no aportan energía calorífica a las viviendas.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla siguiente:

Tª P1 (5ª-3ª)			
Fecha	Periodo (h)	Temperatura (°C)	Descenso Tª (°C/h)
16/12/2021 0:50	0:50:00	24,3	
16/12/2021 7:50	7:50:00	21,3	
		7	-3
			<b>-0,43</b>

Temperatura exterior (°C)		
Tª máxima	Tª mínima	Tª promedio
6,8	5,5	6,3

Tª P2 (3ª-3ª)			
Fecha	Periodo (h)	Temperatura (°C)	Descenso Tª (°C/h)
16/12/2021 0:50	0:50:00	21,9	
16/12/2021 7:50	7:50:00	20,7	
		7	-1,2
			<b>-0,17</b>

Tª P3 (1ª-1ª)			
---------------	--	--	--

Fecha	Periodo (h)	Temperatura (°C)	Descenso T <sup>a</sup> (°C/h)
16/12/2021 0:50	0:50:00	23,1	
16/12/2021 7:50	7:50:00	20,2	
	7	-2,9	<b>-0,41</b>

Tabla 21. Variación de temperaturas / hora, partiendo del mismo periodo de tiempo en las tres viviendas y durante 7h

Las temperaturas exteriores consignadas corresponden al lapso de tiempo comprendido entre la hora más temprana y la hora más tardía dentro de los tres periodos de 7 horas consignados en las viviendas.

La vivienda que muestra menores disminuciones en su temperatura interna, con una gran diferencia, es la vivienda P2. Esta variación es la que se va a tener como referente en la comparación con las otras dos viviendas.

<b>Diferencia porcentual mismo periodo tiempo (0:50:00 a 7:50:00)</b>	
<b>P1 respecto a P2</b>	<b>P3 respecto a P2</b>
150%	142%

Tabla 22. Diferencia porcentual mismo intervalo de tiempo

De acuerdo a la *Gráfica 8*, *Tabla 18*, *Tabla 21* y *Tabla 22*:

- La vivienda que presenta mejores resultados vuelve a ser la vivienda intermedia P2 (3<sup>o</sup>-3<sup>a</sup>) con una temperatura interior más regular como ya se ha indicado y observado en la *Tabla 8*.
- Las viviendas P1 (5<sup>o</sup>-3<sup>a</sup>) y P3 (1<sup>o</sup>-1<sup>a</sup>) tienen unos resultados muy similares siendo ahora la vivienda P1 (5<sup>o</sup>-3<sup>a</sup>) la que muestra peores resultados con una velocidad de enfriamiento 150% superior a la vivienda P2 (3<sup>o</sup>-3<sup>a</sup>), mientras que en el piso P3 (1<sup>o</sup>-1<sup>a</sup>) la velocidad de enfriamiento, respecto a P2, es 142% superior, lo que viene a decir que la temperatura en la vivienda del primer piso disminuye 2,5 veces más rápido que en el piso entreplantas.

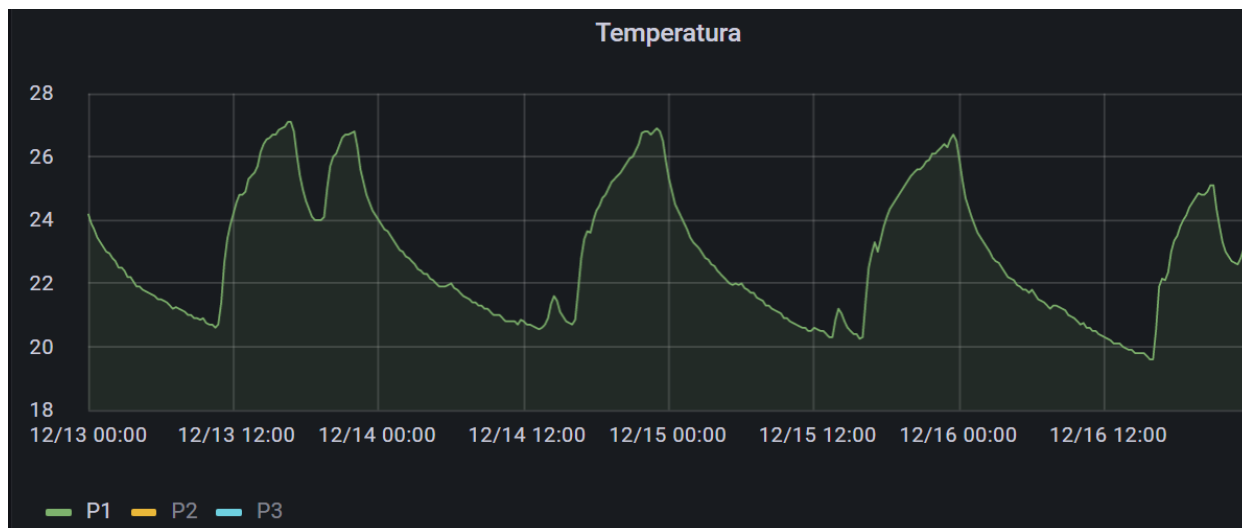
Estos resultados indican que el periodo elegido, la temperatura exterior, y sobre todo la temperatura inicial en el interior de las viviendas (indicativo de los hábitos de uso de los sistemas de calefacción de sus ocupantes) son factores decisivos en los resultados obtenidos. No obstante, se observa una tendencia similar en todos los análisis.

### **Velocidad de enfriamiento partiendo del mismo periodo de tiempo en la misma vivienda durante 7h en días diferentes.**

En este análisis se va a estudiar como la temperatura inicial en las viviendas es un factor determinante en la velocidad de enfriamiento. Los resultados obtenidos van a mostrar cómo cuando se parten de temperaturas más elevadas en el interior de las viviendas, la disminución de la temperatura en el tiempo se eleva (es más rápida).

#### Vivienda P2 (5<sup>o</sup>-3<sup>a</sup>)

Se van a evaluar la velocidad de enfriamiento de la vivienda P1 en la misma franja horaria de la madrugada (periodo sin intervención del sistema calefactor) en diferentes días y partiendo de temperaturas iniciales en el interior de la vivienda diferentes.



Gráfica 9. Evolución Temperatura interna en vivienda P1 días 13 a 16 de diciembre de 2021

Temperatura exterior (°C)			Tª P1 (5ª-3ª)			
Tª máxima	Tª mínima	Tª promedio	Fecha	Périodo (h)	Temperatura (°C)	Descenso Tª (°C/h)
9,4	7,3	8,1	13/12/2021 0:50	0:50:00	23,4	
			13/12/2021 7:50	7:50:00	21,1	
				7	-2,3	<b>-0,33</b>
7,5	5,2	6,3	15/12/2021 0:50	0:50:00	24,2	
			15/12/2021 7:50	7:50:00	21,4	
				7	-2,8	<b>-0,40</b>
6,8	5,5	6,3	16/12/2021 0:50	0:50:00	24,3	
			16/12/2021 7:50	7:50:00	21,3	
				7	-3	<b>-0,43</b>
6,8	5,9	6,4	16/12/2021 0:00	0:00:00	25,9	
			16/12/2021 7:00	7:00:00	21,4	
				7	-4,5	<b>-0,643</b>

Tabla 23. Descenso de temperaturas / hora, partiendo del mismo periodo de tiempo en la misma vivienda durante 7h y en días diferentes.

Aunque la temperatura interior al inicio del periodo contemplado es diferente en cada día, en la Gráfica 9 y la Tabla 23, se aprecia como la temperatura final, transcurridas las 7 horas de la noche sin calefacción, es prácticamente la misma. (en torno a los 21,2°C).

La temperatura tomada como referencia es la temperatura interna más baja, es decir los 23,4 °C del día 13 a las 0:50:00 de la madrugada.

Diferencia porcentual misma vivienda (P1) y diferente Tª interna		
<b>24,2°C respecto a 23,4°C</b>	<b>24,3°C respecto a 23,4°C</b>	<b>24,2°C respecto a 25,9°C</b>
22%	30%	96%

Tabla 24. Diferencia porcentual misma vivienda con temperaturas iniciales diferentes

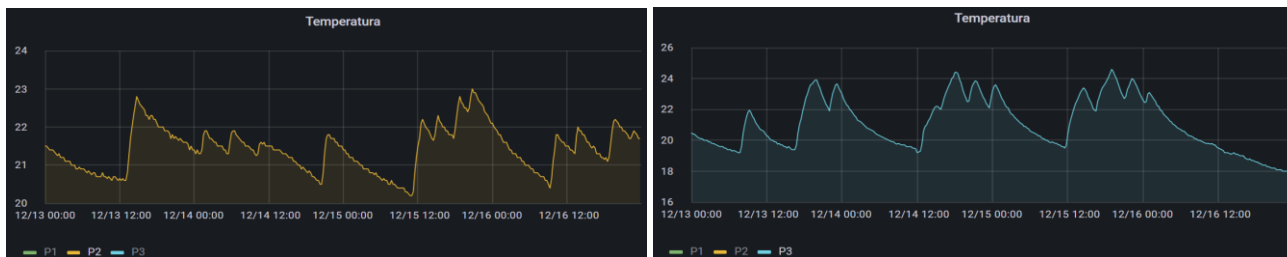
Observando la Tabla 23 y la Tabla 24 se aprecia claramente como a medida que la temperatura de partida es más elevada la velocidad de enfriamiento es mayor y cuanto más elevada es la temperatura inicial mayor es la velocidad de enfriamiento alcanzando; en el último caso, donde se parte de una temperatura interna de 25,9°C el descenso de temperatura es 1,96 más rápido que cuando la temperatura interna de partida es de 23,4 °C; porcentualmente un 96% más rápido.

Si la comparación se realiza en pérdidas de grados, se ve que con una temperatura inicial de 23,4°C la bajada de temperatura a las 7h es de 2,3 °C, de 3°C si la temperatura inicial es de 24,3°C y de 4,5 °C si la temperatura inicial es de 25,9°C

Estos análisis demuestran, como ya se ha indicado que independientemente de la rehabilitación energética realizada, la velocidad de enfriamiento de una vivienda es mayor cuanto más alta es la temperatura interna de una vivienda.

### Viviendas P2 (3º-3ª) y P3 (1º-1ª)

Ampliando el mismo análisis para las viviendas P2 y P3 se pueden ver los resultados obtenidos en la *Tabla 25*, *Tabla 26* y *Gráfica 10*.



Gráfica 10. Evolución Temperatura interna en viviendas P2 y P3 días 13 a 16 de diciembre de 2021

Temperatura exterior (°C)					Tª P2 (3º-3ª)		Tª P3 (1º-1ª)	
Tª máxima	Tª mínima	Tª promedio	Fecha	Periodo (h)	Temperatura (°C)	Descenso Tª (°C/h)	Temperatura (°C)	Descenso Tª (°C/h)
9,4	7,3	8,1	13/12/2021 0:50	0:50:00	21,4		20,3	
			13/12/2021 7:50	7:50:00	20,8		19,2	
				7	-0,6	-0,09	-1,1	-0,16
7,5	5,2	6,3	15/12/2021 0:50	0:50:00	21,3		23,3	
			15/12/2021 7:50	7:50:00	20,6		20,2	
				7	-0,7	-0,10	-3,1	-0,44
6,8	5,5	6,3	16/12/2021 0:50	0:50:00	21,9		23,1	
			16/12/2021 7:50	7:50:00	20,7		20,2	
				7	-1,2	-0,17	-2,9	-0,41

Tabla 25. Descenso de temperaturas / hora, partiendo del mismo periodo de tiempo en la misma vivienda (P2 y P3) durante 7h en días diferentes.

Diferencia porcentual misma vivienda (P1) y diferente Tª interna respecto a 21,3°C		Diferencia porcentual misma vivienda (P1) y diferente Tª interna respecto a 21,3°C	
-14%	71%	23,1°C respecto a 20,3°C	23,3°C respecto a 20,3°C
		164%	182%

Tabla 26. Diferencia porcentual misma viviendas (P2 y P3) con temperaturas iniciales diferentes

En la hoja *Días más fríos* del libro Excel: Análisis comportamientos térmicos viviendas.xlsx, se recogen los cálculos de todos los análisis realizados, en ellos se puede apreciar el aumento de las velocidades de enfriamiento de las viviendas P2 y P3 cuando parten de temperaturas más elevadas. En la *Gráfica 10*, *Tabla 25* y *Tabla 26* se pueden ver dichos aumentos y diferencia porcentual para P2 y P3.

### Comparación comportamiento semana más fría con vivienda sin rehabilitar

De la comparación con la vivienda sin rehabilitar se obtienen la *Tabla 27*.

	Semana del 13 al 20 de diciembre				P3 ocupada (13 al 16 del 12 dic.)	Semana fría (2 al 8 de febrero de 2019)	
	Exterior vivienda	Tª P1 (5º-3ª)	Tª P2 (3º-3ª)	Tª P3 (1º-1ª) (Semana completa)	Tª P3 (1º-1ª) (Días P3 ocupada)	Exterior vivienda	Tª VSR (4º-4ª)
Tª máxima (°C)	9,89	27,10	23,30	24,60	24,60	18,9	21,7
Tª mínima (°C)	3,93	18,00	18,90	13,40	19,20	3,8	14,64
Tª promedio (°C)	6,31	22,03	21,08	18,10	21,41	10,23	18,54
Desviación típica	1,40	2,15	0,87	3,34	1,52	3,71	1,74
Consumo medio calefacción (W/h)		266.952	34.650	188.653			362.760

Tabla 27. Comparación temperaturas y consumos semana diciembre y semana febrero

Dado que la vivienda P3 permanece desocupada los últimos 3 días de la semana, se ha añadido una nueva columna a P3 con los datos obtenidos en los 4 días en que permanece ocupada.

Como ya se ha indicado, los datos y gráficas de la vivienda sin rehabilitar (vivienda VSR) son los reflejados en el proyecto previo de monitorización: “Estudio del comportamiento de la lana de roca en rehabilitaciones energéticas de viviendas en el barrio de Balsas de Ebro Viejo (Zaragoza)” [16]

Dado que las semanas elegidas como semanas más frías en el presente TFM y en el estudio previo monitorizado no coinciden, indicar que como muestra la Gráfica 5 la semana de estudio del presente TFM (mediados de diciembre) es una semana con días más cortos (los días más cortos del año) y temperaturas máximas y medias más bajas que en la semana de la vivienda sin rehabilitar de primeros de febrero (ver Gráfica 7) con lo cual, y sin tener en cuenta la alta nubosidad de la semana de diciembre, se puede afirmar que la influencia de la radiación solar fue mucho menor en diciembre que en febrero.

Analizando la Tabla 27 y la Gráfica 5:

A pesar de tener la semana del 13 al 20 de diciembre de 2021 unas temperaturas máximas y medias exteriores más bajas que la semana de febrero de 2019 de la vivienda sin rehabilitar (temperatura máxima de 9,89°C frente a 18,9°C y media de 6,31°C frente a 10,23°C) los resultados obtenidos son mucho mejores en las viviendas rehabilitadas. También es una semana, la de diciembre, mucho más regular en sus bajas temperaturas a la de febrero donde hay diferencias de casi 10°C entre el día y la noche mientras que en la semana de diciembre estas diferencias son de 3°C manteniéndose toda la semana las temperaturas por debajo de los 10°C

Comparando valores con P2 (5º-3ª) (piso con peores resultados que P2 y P3) y vivienda equivalente al piso sin rehabilitar (ambos son pisos bajo cubierta situados en la última planta de dos edificios con 5 plantas de viviendas) se obtiene que:

- En el bajo cubierta P1 la temperatura no desciende de los 18°C frente a los 14,64°C de la vivienda sin aislar.
- La temperatura promedio de P1 es 22,03°C frente a los 18,54°C de VSR
- Las viviendas P2 y P3 rehabilitadas muestran un patrón de temperaturas más regular que la vivienda sin rehabilitar. Si es cierto que las variaciones de temperatura en la vivienda P1 son mayores (2,15 de desviación típica) que la vivienda VSR (1.74 de desviación) pero esto, como ya se ha indicado, se debe a las altas temperaturas consignadas y alcanzadas en la vivienda P1.

### Comparación consumos energéticos (gas)

Como se aprecia en la *Tabla 27* y la *Tabla 28*, los resultados más eficientes en las viviendas del edificio de la Avda. Rodríguez Ayuso vienen acompañados de un gasto energético en climatización inferior al de la vivienda sin aislar lo cual ratifica el ahorro energético de aislar edificios de vieja construcción.

Vivienda	Días facturados	Consumo GAS facturado (Wh)	Consumo GAS a la semana (Wh)
P1 (5º-3ª)	63	2.402.570	266.952
P2 (5º-3ª)	63	311.850	34.650
P3 (1º-1ª)	63	1.697.880	188.653
Tª VSR (4º-4ª)	7		362.760

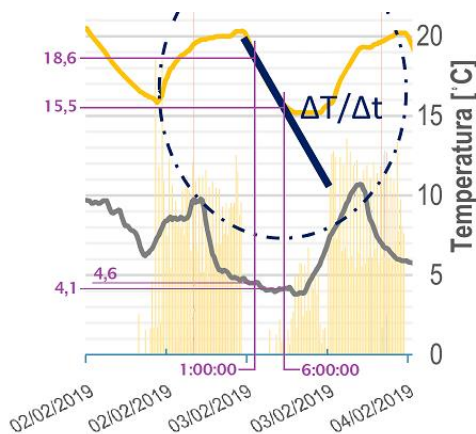
Tabla 28. Consumos de gas invierno según facturas bimensuales y semanales

La Tabla 28 muestra los consumos de gas facturados en las viviendas rehabilitadas entre 22/11/2021 y el 24/01/2022 (63 días). Periodo que integra la semana de días más fríos seleccionada (semana del 13 al 20 de diciembre 2021).

Los datos de la vivienda sin rehabilitar (VSR) provienen del *Estudio previo. Monitorización vivienda no rehabilitada* [16] ya comentado anteriormente.

### Comparación de la velocidad de enfriamiento con vivienda sin rehabilitar

La *Gráfica 11*, obtenida del informe final del proyecto “*Estudio del comportamiento de la lana de roca en rehabilitaciones energéticas de viviendas en el barrio de Balsas de Ebro Viejo (Zaragoza)*” [16], muestra la pendiente y el descenso de la temperatura interna de la vivienda sin rehabilitar VSR.



Gráfica 11. Velocidad de enfriamiento vivienda sin rehabilitar

En la *Gráfica 11* se observa como en 6 horas (de 1:00:00 a 6:00:00 de la madrugada) la temperatura en el interior de la vivienda sin rehabilitar (VSR) ha descendido 3,1°C (de los 18,6°C hasta 15,5°C) mientras que la temperatura exterior se ha mantenido entre los 4,1°C y los 4,6°C lo cual supone una velocidad de enfriamiento de 0,51 °C/h.

Estos datos se representan en la *Tabla 29* donde se representan también las velocidades de enfriamiento en el mismo intervalo de tiempo de 6 horas (aunque diferente semana y año) de las viviendas rehabilitadas.

Temperatura exterior (°C)			Tª VSR (4ª-4ª)			
Tª máxima	Tª mínima	Tª promedio	Fecha	Periodo (h)	Temperatura (°C)	Descenso Tª (°C/h)
4,1	4,6	4,4	03/02/2019 1:00	1:00:00	18,6	
			03/02/2019 7:00	7:00:00	15,55	
				6	-3,05	-0,51
			Tª P1 (5ª-3ª)			
			Fecha	Périodo (h)	Temperatura (°C)	Descenso Tª (°C/h)
			16/12/2021 4:40	4:40:00	22	
			16/12/2021 10:40	10:40:00	20,6	
				6	-1,4	-0,23
Temperatura exterior (°C)			Tª P2 (3ª-3ª)			
Tª máxima	Tª mínima	Tª promedio	Fecha	Périodo (h)	Temperatura (°C)	Descenso Tª (°C/h)
6,8	4,9	6,0	16/12/2021 0:30	0:30:00	22	
			16/12/2021 6:30	6:30:00	20,9	
				6	-1,1	-0,18
			Tª P3 (1ª-1ª)			
			Fecha	Périodo (h)	Temperatura (°C)	Descenso Tª (°C/h)
			16/12/2021 2:40	2:40:00	22	
			16/12/2021 8:40	8:40:00	20	
				6	-2	-0,33

Tabla 29. Velocidad de enfriamiento partiendo del mismo periodo de tiempo en todas las viviendas y durante 6 horas

Como ya se ha indicado, la temperatura inicial de las viviendas condiciona mucho la velocidad de enfriamiento, por este motivo en la *Tabla 29* se ha elegido una temperatura inicial igual para las tres viviendas rehabilitadas lo más baja posible (22°C) para que se aproxime a los 18°C de temperatura inicial de la vivienda sin rehabilitar.

Las diferencias porcentuales en las velocidades de enfriamiento de la vivienda sin rehabilitar (VSR) respecto a las rehabilitadas se muestra en la *Tabla 30*

Diferencia porcentual misma temperatura (22°C)		
VSR respecto a P1	VSR respecto a P2	VSR respecto a P3
118%	177%	53%

Tabla 30. Diferencia porcentual vivienda sin rehabilitar respecto a viviendas rehabilitadas

De acuerdo con la *Tabla 29*, y *Tabla 30* la mejora en la demanda energética queda patente; comentando dichas tablas se puede decir que:

- Los resultados obtenidos en las viviendas rehabilitadas son mucho mejores que en la vivienda sin rehabilitar a pesar de que estas viviendas parten de una temperatura interior inicial 3,4°C superior a la vivienda sin aislar.
- La vivienda sin rehabilitar VSR se enfría un 177% más rápido que la vivienda P2 (3ª-3ª). Bien es verdad que la vivienda P2 es la vivienda con mejores resultados al encontrarse situada entre plantas.
- La diferencia porcentual de la velocidad de enfriamiento de la vivienda sin rehabilitar VSR respecto a la velocidad de enfriamiento de los pisos P1 y P2 en el bloque rehabilitado (*Tabla 30*) es el 118% respecto a P1 y del 53% respecto a P3 (1ª-1ª).

Teniendo en cuenta el resultado más desfavorable (comparativa porcentual con vivienda P3) se tiene que la vivienda VSR se enfría 1,5 veces más rápidamente que la vivienda P3. En el caso del piso bajo techo P1, la vivienda sin aislamiento se enfría 2,2 veces más rápido.

Hay que indicar que aunque la temperatura exterior promedio es 1,6°C inferior en la vivienda VSR, las diferencias porcentuales reflejadas en la *Tabla 30* serían todavía mayores en el caso de partir de la misma temperatura que la vivienda sin aislar (18,6°C) y que estas velocidades de enfriamiento menores en P1, P2 y P3 vienen acompañadas de un consumo de gas bastante menor que en la vivienda sin rehabilitar VSR como se verá en el apartado "Consumo de gas para calefacción".



Como resumen de tan amplio apartado se puede afirmar que, como ya se ha mencionado, los resultados arrojados en los diferentes análisis comparativos con una vivienda similar sin rehabilitar demuestran que la rehabilitación energética en viviendas de antigua construcción disminuye las demandas energéticas en calefacción y por lo tanto sus consumos energéticos también disminuyen.

### Análisis del comportamiento térmico de las viviendas ante un cambio brusco de temperatura exterior

En este punto se analizará la variación de la temperatura en el interior de las viviendas de muestra ante un descenso pronunciado y repentino de temperaturas y ante un ascenso pronunciado de temperaturas.

Como ya se ha indicado, una de las ventajas del aislamiento SATE es que aumenta la inercia térmica del edificio debida a la masa de los elementos constructivos de fachadas cubierta y solera. Este aspecto se analiza muy bien en los cambios bruscos de temperatura ya que dichos cambios permiten analizar la inercia térmica de las viviendas y evaluar la amortiguación y el desfase entre la temperatura exterior y la temperatura interior.

Señalar también, que las mejores condiciones para evaluar estos aspectos son en aquellos meses en que se cumpla:

- La temperatura en el interior de las viviendas sea lo suficientemente confortable para que los usuarios no utilicen los sistemas de calefacción – refrigeración.
- Que la disminución o aumento de temperaturas en el exterior sea lo suficientemente pronunciada y prolongada en el tiempo para permitir observar las variaciones térmicas en el interior de los pisos de muestra en un margen suficiente de tiempo.

A estas dos situaciones hay que sumar una tercera: que las sondas en las tres viviendas funcionen correctamente.

Con lo indicado se han buscado dichas condiciones, principalmente en los meses de primavera y otoño de 2021 y 2022. Aunque no se han encontrado situaciones ideales 100% se han analizado los siguientes casos:

Fecha	Variación de temperatura (°C)	Periodo (h)	Observaciones
Del 21 al 22 de mayo de 2021	11,6	6	Descenso de temperaturas
Del 23 al 24 de mayo de 2022	10,4	5	Descenso de temperaturas. La vivienda 5ª-3ª no pudo ser monitorizada
2 de octubre de 2021	11,3	5	Aumento de temperaturas
5 de julio de 2022	15,8	7	Aumento de temperaturas. La vivienda 5ª-3ª no pudo ser monitorizada

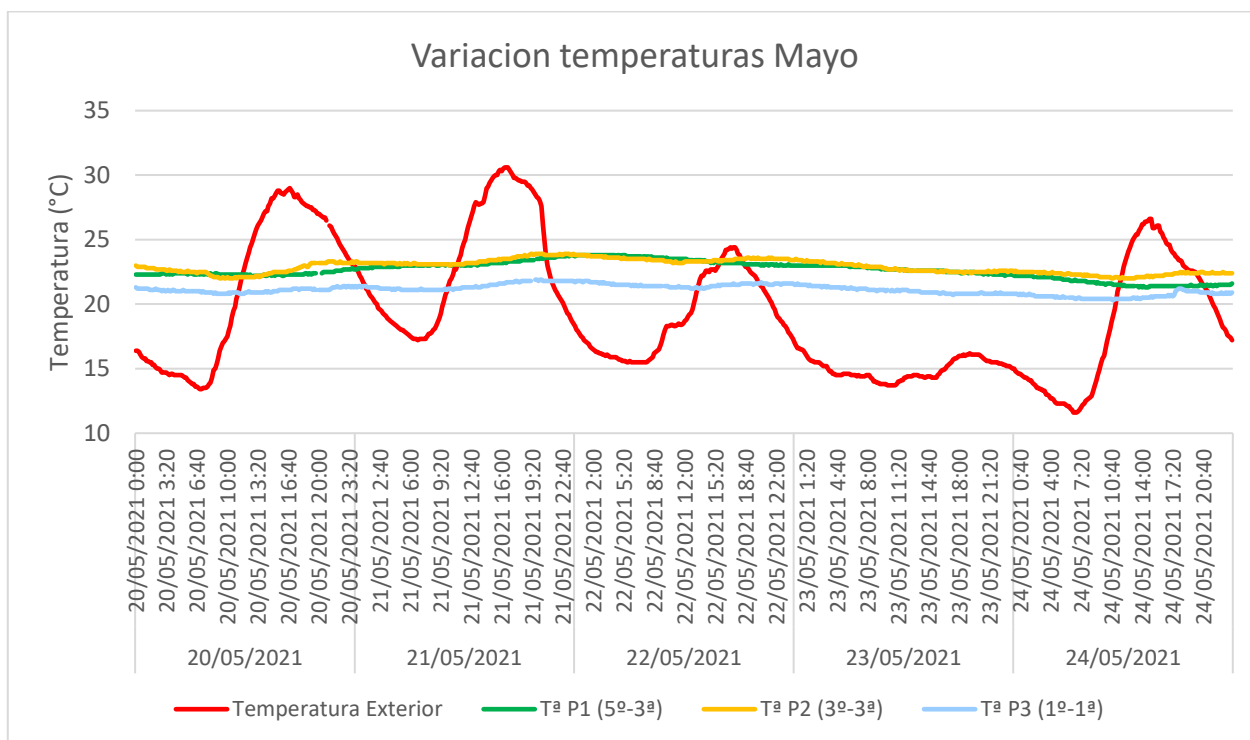
Tabla 31. Análisis realizados en cambios bruscos de temperaturas

En la hoja de cálculo *Cambios Bruscos de Tª* del libro Excel: *Análisis comportamientos térmicos viviendas.xlsx* se encuentran los análisis de los casos nombrados en la Tabla 31. Aquí solo se van a plasmar las situaciones de mayo de 2021 y octubre de 2021 al ser los dos casos en que se pudo obtener datos en las tres viviendas monitorizadas.

#### Descenso brusco de temperaturas en el exterior

El día 21 de mayo de 2021 las temperaturas descendieron 11 grados por la noche y en los dos días siguientes las temperaturas máximas exteriores disminuyeron de 31°C a 24°C el día 22 y a 16°C el 23 comenzando a remontar el 24 (*Gráfica 12*).

La *Tabla 32*, la *Gráfica 12* y la *Gráfica 13* muestran la variación de temperatura por hora, en el interior de cada una de las viviendas monitorizadas, ante un descenso brusco de temperaturas en el exterior (11,6 °C en 6 horas) en la semana del 20 al 24 de mayo de 2021.

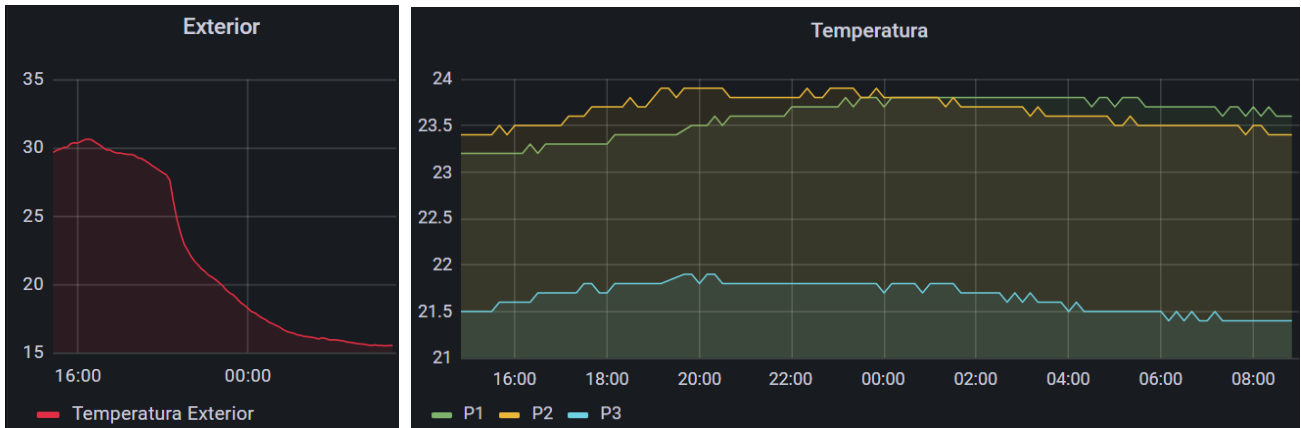


*Gráfica 12. Variación de temperaturas viviendas ante cambio brusco temperatura exterior mayo 2022*

Observando la *Gráfica 12* se ve como a pesar de descender las temperaturas máximas entre los días 21 y 23 de mayo 14 grados la temperatura en el interior de las viviendas se mantiene en la zona de confort térmico no bajando de los 20°C

			Tª P1 (5ª-3ª)			
			Fecha	Periodo (h)	Temperatura (°C)	Descenso Tª (°C/h)
			21/05/2021 20:10	20:10:00	23,5	
			22/05/2021 2:10	2:10:00	23,8	
				6	0,3	0,050
Temperatura exterior (°C)			Tª P2 (3ª-3ª)			
Tª máxima	Tª mínima	Descenso de Tª	Fecha	Periodo (h)	Temperatura (°C)	Descenso Tª (°C/h)
28,0	16,4	11,6	21/05/2021 20:10	20:10:00	23,9	
			22/05/2021 2:10	2:10:00	23,7	
				6	-0,2	-0,033
			Tª P3 (1ª-1ª)			
			Fecha	Periodo (h)	Temperatura (°C)	Descenso Tª (°C/h)
			21/05/2021 20:10	20:10:00	21,9	
			22/05/2021 2:10	2:10:00	21,7	
				6	-0,2	-0,033

*Tabla 32. Variación de temperatura / hora ante descenso brusco de temperatura exterior. (Mayo 2021)*



Gráfica 13. Caída de temperatura exterior y temperaturas en el interior de las viviendas (Mayo 2021)

Se observa que ante una bajada de temperatura en el exterior de 11,6 °C en 6 horas, la temperatura en el interior de las viviendas se mantiene prácticamente constante. La subida de 0,3°C de temperatura en la vivienda 5ª -3ª se puede deber al calor acumulado en la cubierta durante todo el día.

Debido a su orientación, la vivienda P3 (1ª-1ª) (sureste) se mantiene 2 grados por debajo de P2 (5ª-3ª) y P2 (3ª-3ª) (orientación suroeste) ya que estas dos últimas viviendas reciben la radiación solar hasta la puesta del sol (21:20 el 21 de mayo) ,mientras que la primera solo recibe la radiación solar por la mañana y hasta el mediodía. Otro factor que afecta a la vivienda P3 es que el aislamiento térmico de la solera que comparte con el local se realizó a principios de julio de 2021.

De cara a analizar la inercia térmica y el desfase entre la temperatura exterior y la interior en las viviendas, se han creado la *Tabla 33* y la *Tabla 34* a partir de las temperaturas máximas alcanzadas en el exterior, el día 21 de mayo, y los máximos alcanzados en cada una de las viviendas ese mismo día. (Datos mostrados en la *Gráfica 12*).

Tiempo en que cada vivienda alcanza su máxima temperatura respecto a la Tª máx. exterior							
Fecha	Temperatura exterior (°C)	Tª max P1 (°C)	Retardo Tª máx P1 respecto a Tªmax ext. (h)	Tª max P2 (°C)	Retardo Tª máx P2 respecto a Tªmax ext. (h)	Tª max P3 (°C)	Retardo Tª máx P3 respecto a Tªmax ext. (h)
21/05/2021 16:40	30,6						
21/05/2021 19:10	29			23,9	2:30:00		
21/05/2021 19:40	28,5					21,9	3:00:00
21/05/2021 23:10	19,3	23,8	6:30:00				

Tabla 33. Desfase temporal en alcanzar cada vivienda su Tª máximas respecto a la máxima exterior

Tiempo en que cada vivienda mantiene su Tª máxima (± 0,2°C) mientras desciende la Tª exterior							
		Tª P1 (°C)	Tiempo transcurrido manteniendo P1 su Tª interior (h)	Tª max P2 (°C)	Tiempo transcurrido manteniendo P2 su Tª interior (h)	(°C)	Tiempo transcurrido manteniendo P3 su Tª interior (h)
22/05/2021 0:50	17,4					21,7	5:10:00
22/05/2021 1:20	17			23,7	6:10:00		
22/05/2021 7:20	15,5	23,6	8:10:00				

Tabla 34. Inercia térmica de las viviendas P1, P2 y P3

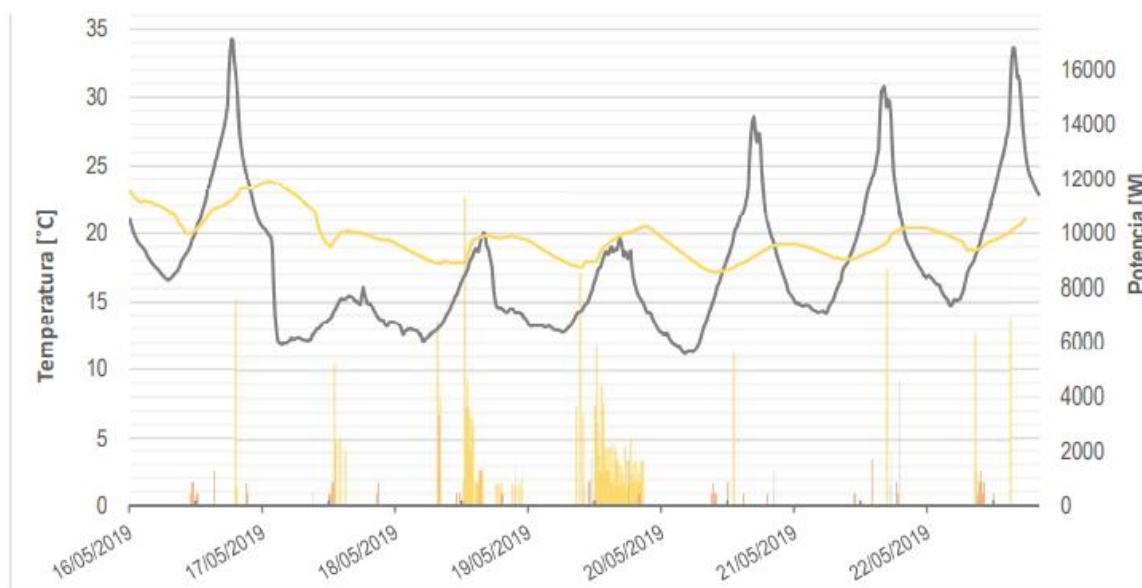
A partir de la *Tabla 33* y la *Tabla 34* se observa que:

- La vivienda P1 (5ª-3ª) es la vivienda que tarda más tiempo en alcanzar su temperatura máxima (6 horas) a partir de la hora donde la temperatura exterior es máxima (hora de referencia). También es la vivienda que más tiempo mantiene su temperatura interior mientras desciende la exterior. Esto demuestra que **la vivienda P1 (vivienda bajo cubierta) es la vivienda con mayor inercia térmica**. Probablemente debido a la masa de aire caliente contenido en la cubierta.

- Las viviendas P2 (3º-3ª) y P3 (1º-1ª) tienen resultados similares siendo la vivienda P3 la que menos inercia muestra debido a que su solera es compartida con el local semisótano cuya temperatura será inferior a la de la vivienda. Cabe recordar que el aislamiento de la solera del local se realizó a principios del mes de julio de 2021.

### Comparación con vivienda sin rehabilitar

Del estudio previo. Monitorización vivienda no rehabilitada [16] se obtiene la *Gráfica 14* que muestra la caída de temperatura por debajo del confort térmico (20°C) en una bajada brusca de temperaturas.



*Gráfica 14. Evolución de temperaturas en exteriores y en vivienda sin rehabilitar (semana del 2 al 8 de febrero 2019)*

Aunque la *Gráfica 12* y *Gráfica 14* muestran temperaturas diferentes, ambas gráficas corresponden al mismo periodo anual (segunda quincena de mayo), con lo que la influencia de la radiación solar será similar. También se puede observar que la temperatura máxima exterior del día 23 de mayo de 2021 de la *Gráfica 12* y la temperatura máxima del día 18 de mayo de la *Gráfica 14* son de 16 °C, sin embargo la temperatura en la vivienda sin rehabilitar cae por debajo de los 20°C habiendo un consumo energético en calefacción, como se muestra en la *Gráfica 14*, mientras que la temperatura en el interior de las viviendas P1, P2 y P3 se mantiene por encima del nivel de confort no apreciándose ninguna elevación repentina de la temperatura interna en las viviendas que denotaría un gasto energético en calefacción.

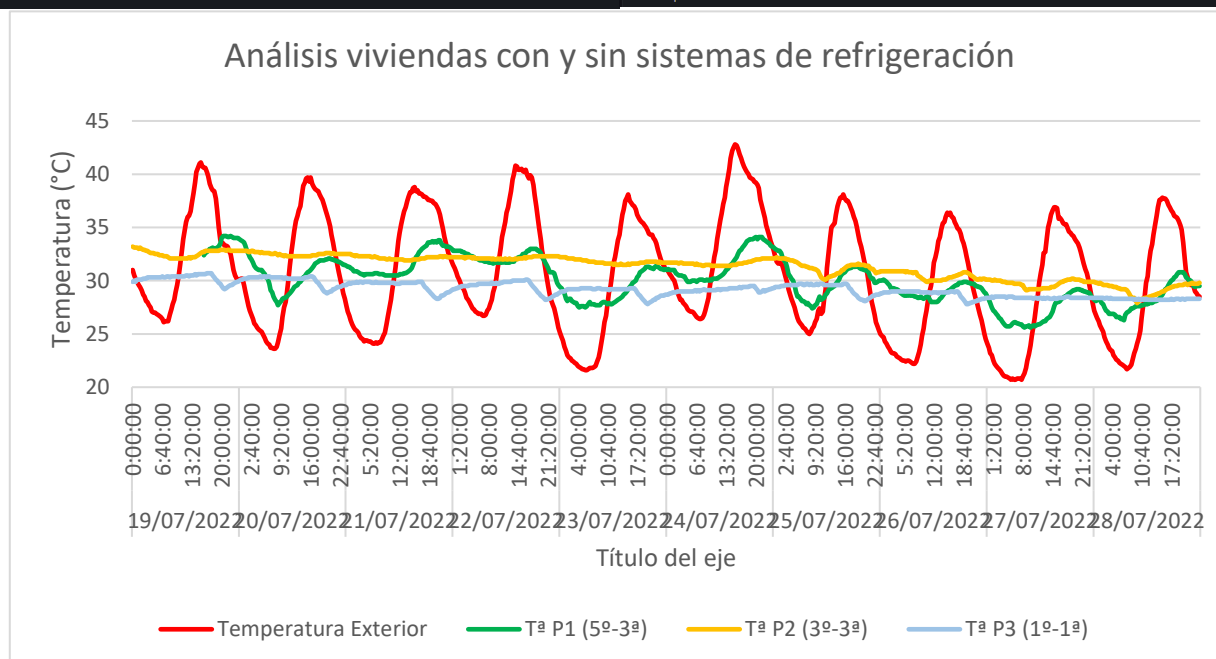
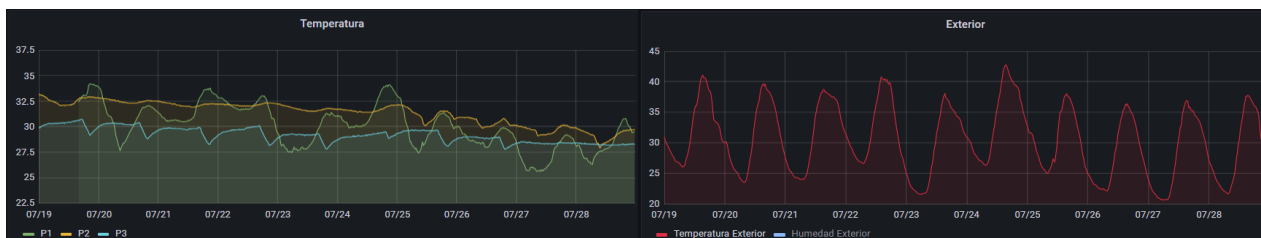
### Análisis del comportamiento de viviendas en verano con y sin sistemas de refrigeración

Dos de las tres viviendas de muestra disponen de dispositivos de refrigeración unizona (un Split y un dispositivo móvil). En este punto se analiza el comportamiento térmico en días de elevadas temperaturas, tanto de la vivienda sin equipo de refrigeración como de las viviendas que disponen de él.

Los cálculos realizados se encuentran en el libro Excel: *Análisis comportamientos térmicos viviendas.xlsx* hoja *Sist Refrigeración verano.xlsx*

Para este análisis se ha elegido la semana del 19 al 28 de julio de 2022 ya que:

- Se disponen de monitorizaciones y facturas de consumos eléctricos de las tres viviendas.
- Se conoce el régimen de ocupación de las tres viviendas.
- Semana de altas temperaturas en el exterior donde se alcanzaron máximas superiores a 40 °C.



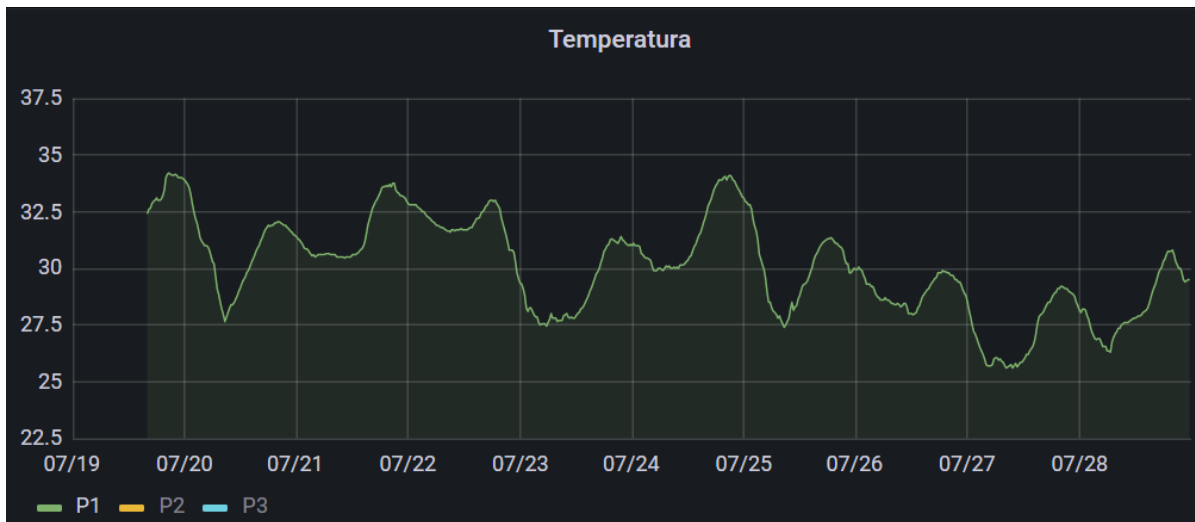
Gráfica 15. Evolución de temperaturas exterior e interiores con y sin sistemas de refrigeración (Julio 2022)

	Exterior vivienda	Tª P1 (5ª-3ª)	Tª P2 (3ª-3ª)	Tª P3 (1ª-1ª)
<b>Tª máxima (°C)</b>	42,80	34,20	33,20	30,70
<b>Tª mínima (°C)</b>	20,70	25,60	27,90	27,80
<b>Tª promedio (°C)</b>	30,64	30,09	31,35	29,20
<b>Desviación típica</b>	5,67	2,11	1,17	0,71

Tabla 35. Variación de temperaturas con y sin sistemas de refrigeración

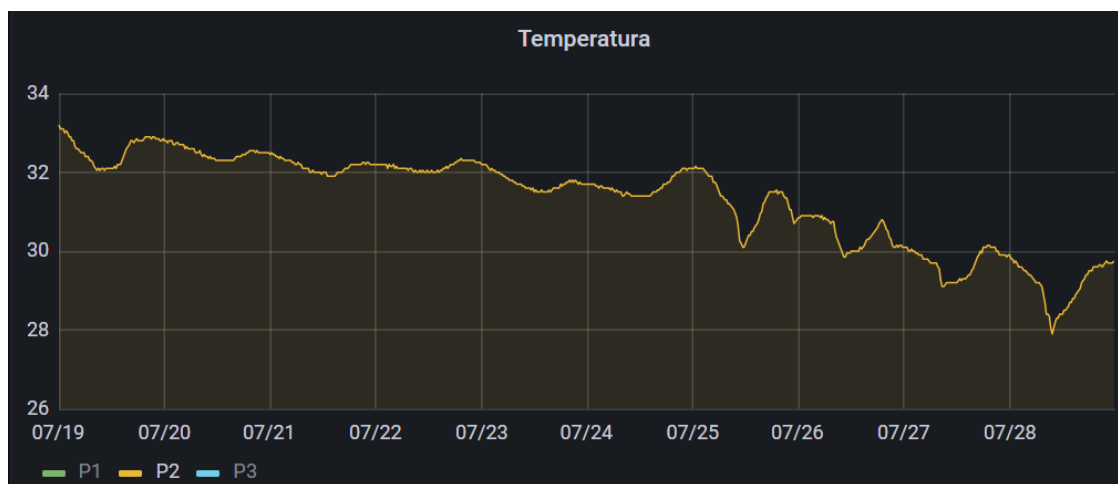
Del análisis de la Gráfica 15, Gráfica 16, Gráfica 17, Gráfica 18 y de la Tabla 35 se obtienen las siguientes observaciones:

- La temperatura media en los hogares es muy próxima a la temperatura media exterior.
- La oscilación térmica en el interior de las viviendas es muy inferior a la oscilación térmica en el exterior que es muy amplia (5,67 de desviación).
- La vivienda bajo cubierta P1 es la que alcanza temperaturas más altas.



Gráfica 16. Evolución de la temperatura interna vivienda P1 (5ª-3ª) (Julio 2022)

- El patrón que sigue este piso (P1), a lo largo de la semana (Gráfica 16), consiste en la subida de temperaturas, sobre todo al medio día y hasta las 20h aproximadamente, de ahí en adelante descende su temperatura, sobre todo por la noche, para volver a subir sobre las 9 de la mañana y, sobre todo, a partir del mediodía.
- Esta vivienda, P1, es la que presenta una oscilación de temperaturas internas más elevada (desviación a lo largo de la semana de 2,11 más del doble que las otras dos). Recordar que esta vivienda está orientada al SO recibiendo la radiación solar por las tardes; además, y de acuerdo a la información proporcionada por los inquilinos, la ventana del salón-comedor esta entreabierta todo el día (por la cual no se puede analizar el efecto del aislamiento térmico en este hogar) y que el sistema de refrigeración móvil se encuentra en el dormitorio principal que permanece cerrado mientras que la sonda que registra la temperatura está en el salón comedor, razón por la cual no quedan registradas variaciones de temperatura debidas al sistema móvil de refrigeración, no así los consumos en electricidad reflejados en facturas que serán elevados, tal y como se mostrarán en el puto Consumo de electricidad para refrigeración.



Gráfica 17. Evolución de la temperatura interna vivienda P2 (3ª-3ª) (Julio 2022)

- La vivienda situada en entresijos, P2, comparte misma orientación con vivienda P1 (SO) con lo que ambas viviendas reciben la radiación solar de las tardes de verano.
- El piso P2 permanece desocupado los primeros días de la semana (del 19 al 24 de julio) y ocupado el resto de la semana. Mientras está desocupado la temperatura media de la vivienda se mantiene en torno a los 32°C (Tabla 36) con muy pocas variaciones tal y como muestra el valor tan bajo de la desviación típica.

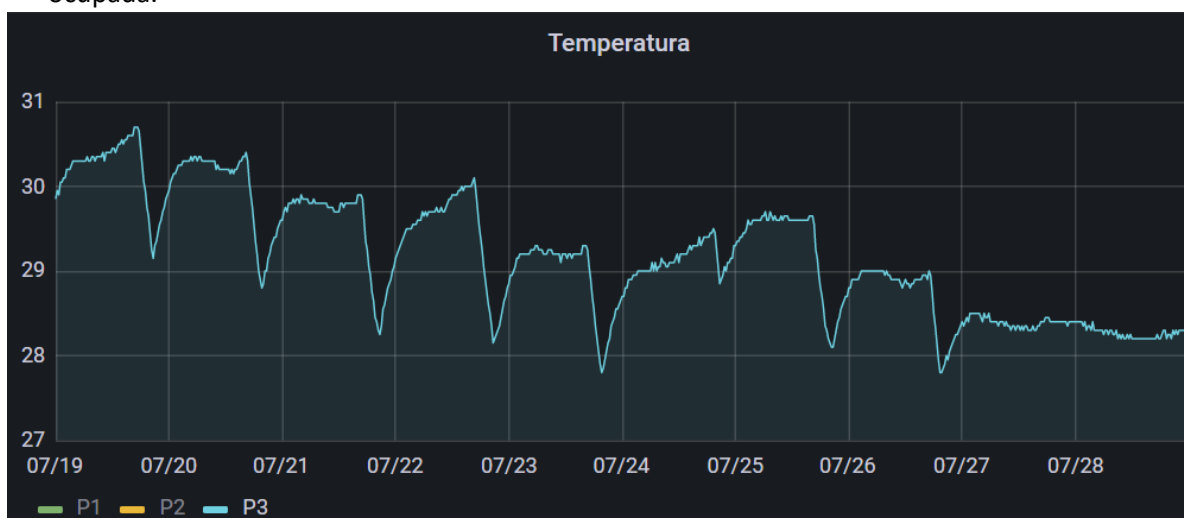
- La bajada de temperaturas medias en la vivienda (ver Gráfica 15, Gráfica 17 y Tabla 36) coincide con la ocupación de la vivienda pero también con el descenso de temperaturas en el exterior; este segundo factor es más relevante que el primero, no así la bajada pronunciada de temperatura en las horas nocturnas que denotan la ventilación de la vivienda a través de la apertura de las ventanas por la noche y en el frescor del inicio de las mañanas. Estas variaciones son la causa de que la temperatura media baje a casi 28°C y la desviación aumente casi dos tercios.
- El aislamiento del edificio no solo mantiene las temperaturas en P2 muy estables sino que también mantiene la temperatura interna máxima de esta vivienda (P2), que carece de sistemas de refrigeración, casi 10°C por debajo de la máxima exterior (ver Gráfica 15 y Gráfica 17).

	Tª P2 (3º-3ª) Vacía	Tª P2 (3º-3ª) Ocupada
Tª máxima (°C)	32,90	32,20
Tª mínima (°C)	31,40	27,90
Tª promedio (°C)	32,09	30,27
Desviación típica	0,39	0,99

<b>Datos vivienda vacía:</b>	del 19 de julio a las 18:h hasta el 24 de julio a las 18h
<b>Datos vivienda ocupada:</b>	del 24 de julio a las 18:h hasta el 27 de julio a las 23:50h

Tabla 36. Evolución de temperaturas en vivienda ocupada y vacía

- Los consumos de electricidad en P2 , dado que son referidos a la factura del mes de julio no pueden diferenciar entre ocupación y no ocupación
- La estabilidad térmica es mayor en el periodo que permanece la vivienda vacía que en el que está ocupada.



Gráfica 18. Evolución de la temperatura interna vivienda P3 (1ª-1ª) (Julio 2022)

- La vivienda P3 es la única vivienda en cuyas monitorizaciones se puede apreciar el efecto del sistema de refrigeración al compartir sonda y split el mismo espacio (salón-comedor). Al observar la Gráfica 18 Se observa claramente las bajadas de temperatura (de entre 1,5°C y 2°C) entorno a las 16h
- Las temperaturas en P3 se mantienen bastante estables por la noche pasando a subir ligeramente a lo largo de la mañana y parte de la tarde. El que la temperatura interior se mantenga estable durante la noche es debido al aislamiento térmico que evita las pérdidas de calor en la vivienda y la no ventilación nocturna de esa habitación (que no se abre, según conversación con ocupante por estar en la primera planta y ser relativamente fácil el acceso a ella desde la calle). La ligera elevación de temperatura por las mañanas se debe al aislamiento y a recibir esta vivienda la sombra de un par de árboles de hoja caduca.
- Como en las otras dos viviendas, la temperatura media en la vivienda desciende a lo largo de la semana siguiendo la tendencia de la temperatura exterior.

- Los consumos en electricidad de esta vivienda debidos al sistema de refrigeración se verán en el punto Consumo de electricidad para refrigeración.

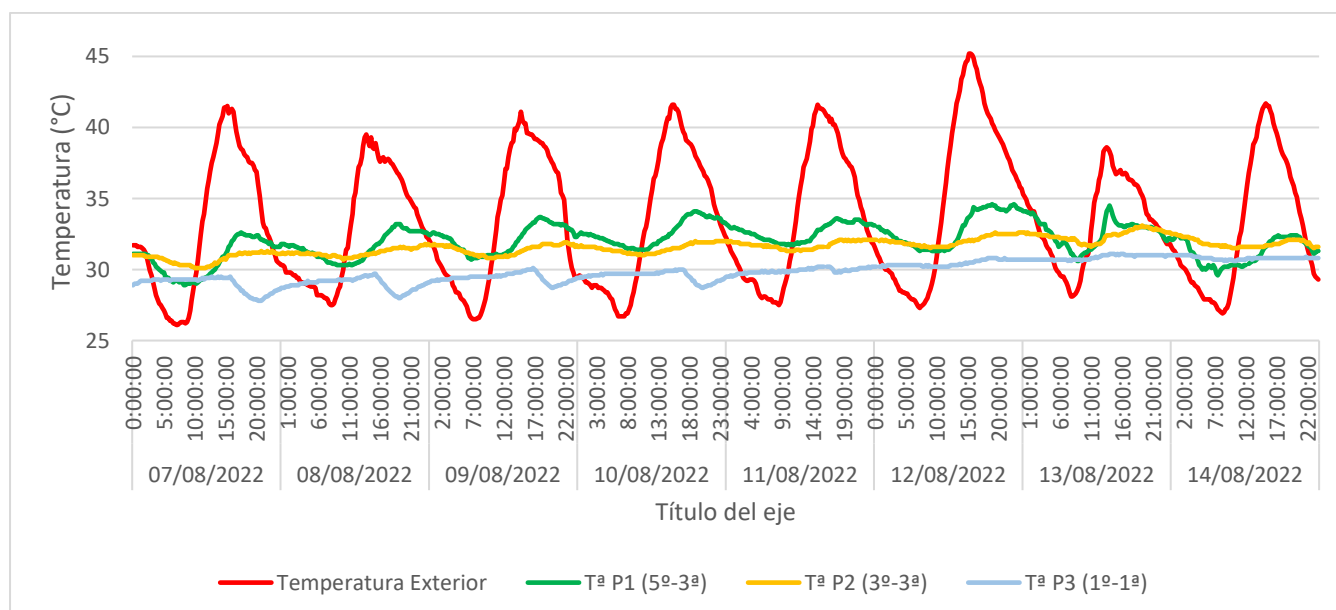
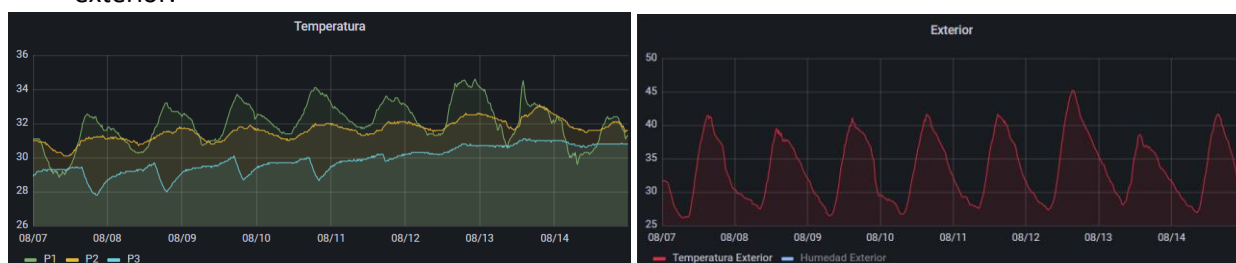
### Análisis del comportamiento térmico de viviendas en días más cálidos (verano 2022)

En este apartado se analiza el comportamiento de la viviendas de muestra del edificio en una de las semanas más cálidas del verano 2022. La semana elegida para este análisis es la semana del 7 al 14 de agosto.

Los datos monitorizados, gráficas Excel y cálculos se encuentran en la hoja de cálculo: *Análisis comportamientos térmicos viviendas.xlsx*. libro *Días más cálidos*.

La evolución de temperaturas externa e internas se pueden observar en la *Gráfica 19* y la *Tabla 37* donde se muestra que:

- Se superaron casi todos los días los 40°C de máximas en el exterior del edificio, llegando a alcanzarse los 45°C.
- La vivienda P1 (5<sup>º</sup>-3<sup>ª</sup>) estuvo ocupada toda la semana. Por las visitas y entrevistas realizadas se sabe que en el comedor-salón de la vivienda, lugar donde está situado el sensor de monitorización, hay numerosas plantas y no es donde está el dispositivo móvil de refrigeración. También se sabe que las ventanas siempre permanecen entreabiertas en verano y nunca están con las persianas bajadas.
- La vivienda P2 (3<sup>º</sup>-3<sup>ª</sup>) estuvo vacía pues su única ocupante pasa el mes de agosto fuera de la ciudad. Las ventanas se mantuvieron cerradas y con sus persianas bajadas.
- La vivienda P1 (1<sup>º</sup>-1<sup>ª</sup>) estuvo ocupada hasta el 11 de agosto y tiene un sistema de refrigeración tipo split unizona en el salón-comedor, lugar donde se encuentra la sonda de monitorización. Se puede apreciar en la *Gráfica 19* y en la *Gráfica 22* como su temperatura interior permanece prácticamente constante en los últimos días de la semana en que está desocupada y el sistema de refrigeración no funciona.
- La temperatura media de las tres viviendas se mantuvo entre 1 y 3 grados por debajo de la media exterior.





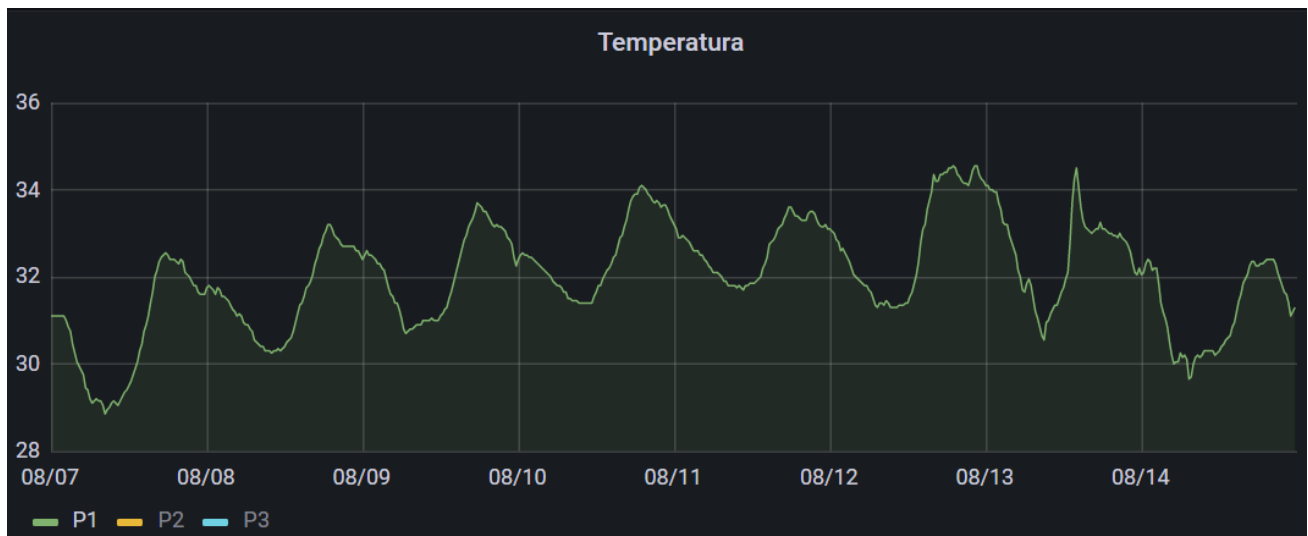
Gráfica 19. Temperaturas semana del 7 al 14 de agosto

Observando la Gráfica 19 se aprecia que las tres viviendas experimentan un ascenso de pocos grados en sus temperaturas interiores a medida que transcurría la semana, ascenso que sigue el aumento de temperatura externa por la noche y que se va atenuando al final de la semana.

	Exterior vivienda	Tª P1 (5º-3ª)	Tª P2 (3º-3ª)	Tª P3 (1º-1ª)
Tª máxima (°C)	45,20	34,60	33,10	31,10
Tª mínima (°C)	26,10	28,90	30,10	27,80
Tª promedio (°C)	33,47	32,03	31,61	29,87
Desviación típica	4,76	1,22	0,58	0,78

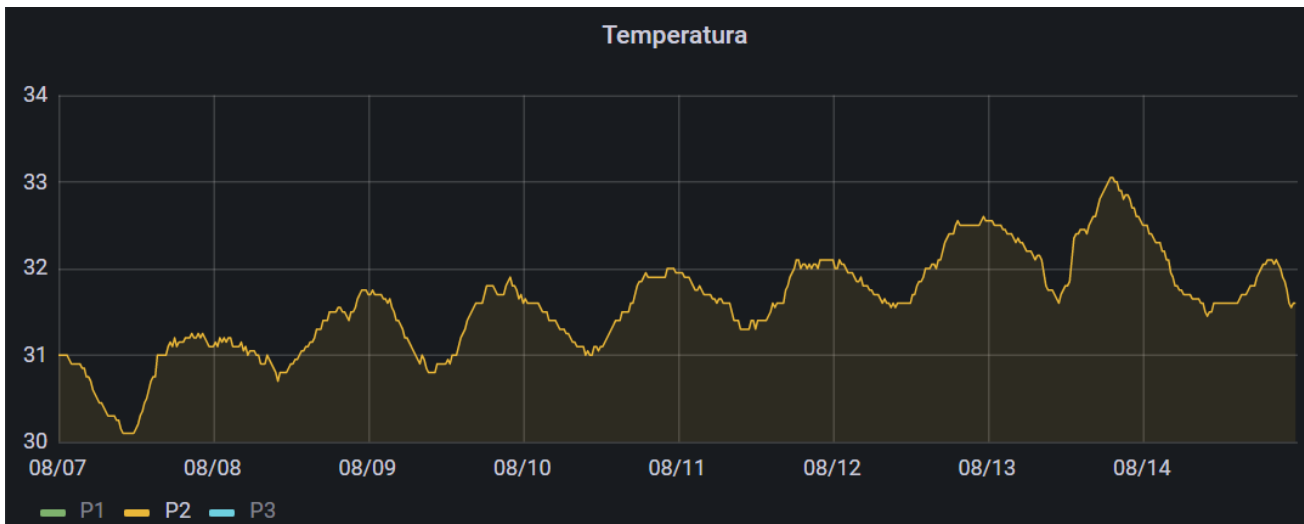
Tabla 37. Temperaturas semana del 7 al 14 de agosto

- La Tabla 37 muestra como la vivienda P1 (5º-3ª) es el piso con mayores temperaturas interiores y mayores oscilaciones térmicas. P1 (5º-3ª) aparte de ser el piso bajo cubierta, tiene otros condicionantes que explican su elevada temperatura interior y la poca estabilidad de esta a lo largo del día. Como ya se ha comentado, el sistema de refrigeración de esta vivienda se encuentra en el dormitorio principal mientras que la sonda que recoge las monitorizaciones se haya en el salón comedor con lo que no se registran bajadas de temperatura debidas al sistema de refrigeración en dicho espacio; por otro lado el hecho de no bajar las persianas y tener las ventanas entreabiertas explican las mayores temperaturas recogidas en la vivienda y oscilación térmica tan elevada (desviación típica doble a la del piso P2, con el que comparte igual orientación).



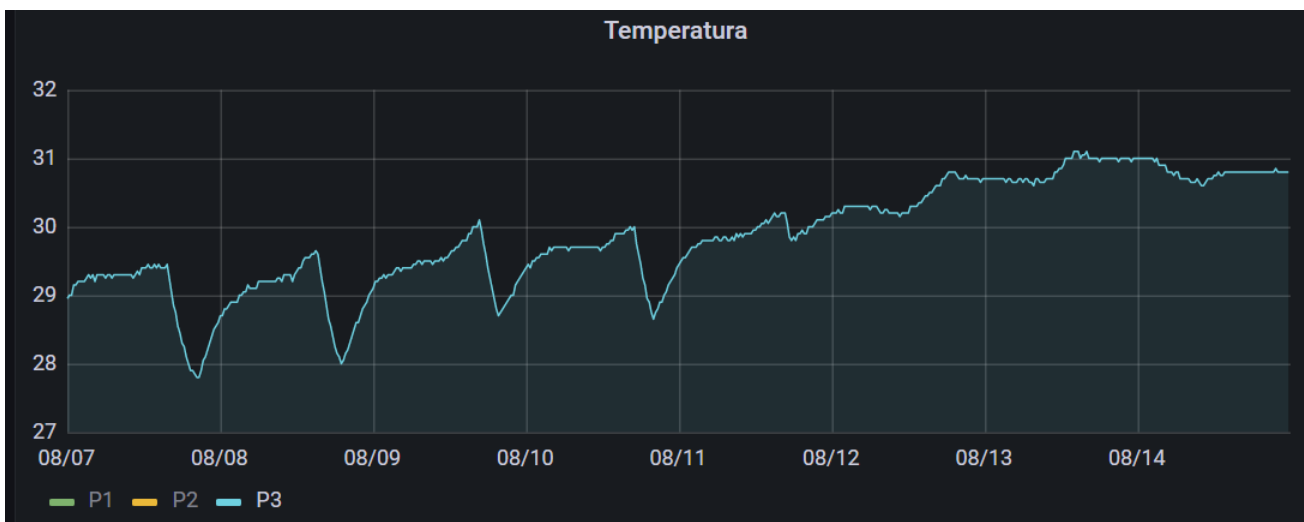
Gráfica 20. Evolución de la temperatura interna vivienda P1 (5º-3ª) en semana de altas temperaturas (agosto 2022)

- Las viviendas P1 (5º-3ª) y P2 (3º-3ª) tienen la misma orientación (suroeste) recibiendo toda la radiación solar de la tarde pues no disponen de elementos exteriores que les proporcionen sombra. El cierre de ventanas y bajada de persianas de la vivienda P2 hace que su temperatura interna sea menor a la de P1 y que P2 sea el piso que muestra mayor estabilidad térmica (desviación 0,58, algo menor que P3 y la mitad que P1).



Gráfica 21. Evolución de la temperatura interna vivienda P2 (3ª-3ª) en semana de altas temperaturas (agosto 2022)

- La vivienda que mantiene su temperatura interior más baja es la P3 (1ª-1ª). Esta vivienda está situada en la planta 1ª del edificio, tiene orientación sureste, con lo que solo recibe radiación directa solar por las mañanas, y en verano parte de la radiación es tapada por la sombra de un par de árboles de hoja caduca; además comparte solera con el local semisótano. Estos factores hacen que las temperaturas en el interior de esta vivienda se mantengan por debajo de las otras dos viviendas independientemente del sistema de refrigeración, como se puede apreciar a partir de mitad de semana donde el sistema de refrigeración ya no está operativo.



Gráfica 22. Evolución de la temperatura interna vivienda P3 (1ª-1ª) en semana de altas temperaturas (agosto 2022)

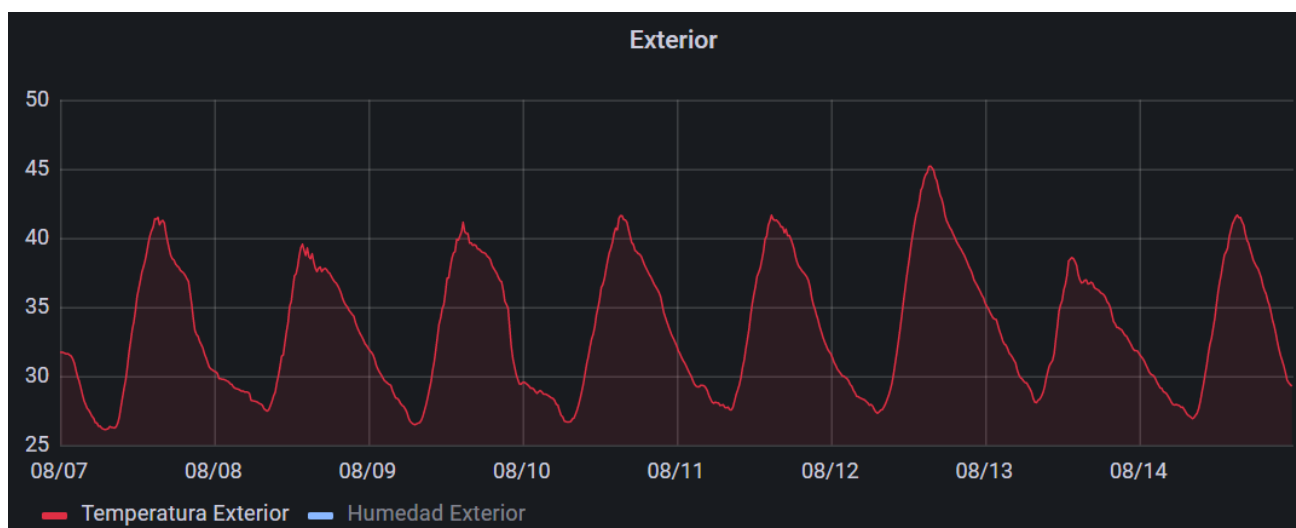
La inercia térmica conseguida con el aislamiento SATE se aprecia en la baja oscilación de temperaturas de las viviendas P2 y P3. La elevada oscilación térmica de la vivienda P1 no se debe a carencias en el aislamiento sino a los hábitos de sus ocupantes (ventanas semiabiertas y persianas alzadas en las horas de máxima radiación solar).

Las ventajas del aislamiento SATE también se muestran en el desfase entre los máximos de temperatura en el exterior y el interior de las viviendas. Este desfase es pequeño en P1 (sobre tres horas de retardo entre la temperatura máxima exterior y la máxima interior), por los motivos ya mencionados pero es mayor en la vivienda P2 (entre 6 y 7 horas) estando interrumpido en la vivienda P3 por el sistema de refrigeración.

## Confort y desconfort térmico (verano)

De acuerdo con lo indicado en el punto “Condiciones de confort térmico” se consideran temperaturas por encima de los 26°C como temperaturas de desconfort térmico.

En la semana de agosto tomada como referencia, una de las semanas con temperaturas más elevadas de un verano muy cálido, ninguna de las viviendas ha mantenido su temperatura interna por debajo de los 26°C, este hecho puede parecer un fracaso del sistema de aislamiento implementado en el edificio, pero si se observan en la *Gráfica 23* la evolución de las temperaturas nocturnas en el exterior del edificio, se puede apreciar que en las horas “más frescas” de la noche la temperatura no baja de los 26°C, concretamente la temperatura más baja de la semana son 26,10°C tal y como muestra la *Tabla 37*.



Gráfica 23. Evolución de la temperatura externa en semana de altas temperaturas (agosto 2022)

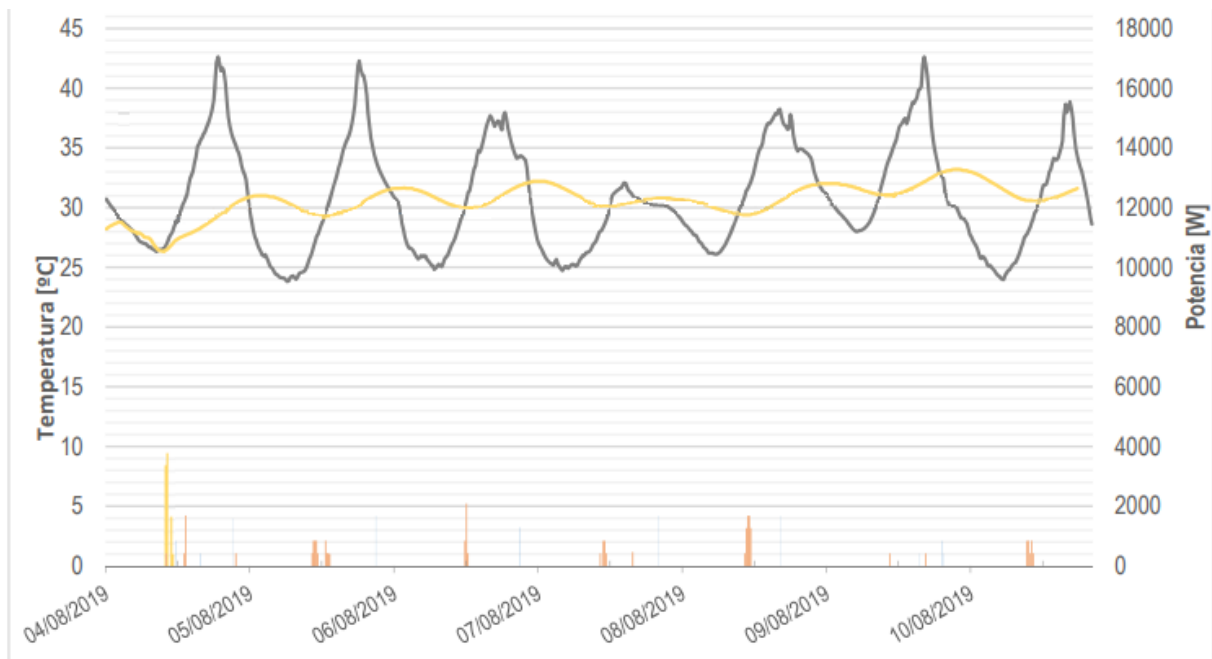
## Comparación comportamiento semana de altas temperaturas con vivienda sin rehabilitar

De la comparación con la vivienda sin rehabilitar se obtienen la *Tabla 38*.

	Semana del 7 al 14 de agosto de 2022				Temperaturas semana cálida VSR (4 al 11 de agosto de 2019)	
	Viviendas Rehabilitadas				Vivienda Sin Rehabilitar	
	Exterior vivienda	Tª P1 (5ª-3ª)	Tª P2 (3ª-3ª)	Tª P3 (1ª-1ª)	Exterior vivienda	Tª VSR (4ª-4ª)
Tª máxima (°C)	45,20	34,60	33,10	31,10	42,62	33,2
Tª mínima (°C)	26,10	28,90	30,10	27,80	22,8	26,51
Tª promedio (°C)	33,47	32,03	31,61	29,87	30,22	30,53
Desviación típica	4,76	1,22	0,58	0,78	4,52	1,34

Tabla 38. Comparación temperaturas semanas cálidas de agosto de 2022 y 2019

Los resultados en la vivienda sin rehabilitar (VSR) son mejores en general, pero hay que tener en cuenta que las temperaturas exteriores máximas, medias y mínimas son varios grados superiores en la semana cálida del edificio rehabilitado (semana del 7 al 14 de agosto de 2022) a la semana cálida del edificio sin rehabilitación térmica (4 al 11 de agosto de 2019), y por tanto condiciones climáticas más suaves.



Gráfica 24. Evolución de temperaturas en exteriores y en vivienda sin rehabilitar (semana del 4 al 11 de agosto de 2019)

A pesar de tener la vivienda VSR condiciones climáticas más suaves, **la estabilidad térmica en las viviendas rehabilitadas sigue siendo mejor a la de la vivienda sin rehabilitar** tal y como muestra el valor de la desviación típica, demostrando la gran inercia térmica de los edificios rehabilitados. Incluso en el piso P1 donde la habitación donde se encuentra la sonda de monitorización permanece con las ventanas entreabiertas y las persianas subidas en plena ola de calor.

#### Comparación consumos energéticos (electricidad)

La comparación de consumos con vivienda sin rehabilitar se ha realizado en dos semanas cálidas (la del 7 al 14 de agosto para los pisos del edificio rehabilitado y la del 23 al 30 de junio para la vivienda del edificio sin rehabilitar. Recordar, que los datos de la vivienda sin rehabilitar han sido sacados del proyecto mencionado en el apartado Estudio previo. Monitorización vivienda no rehabilitada de la sección Viviendas Monitorizadas (Anexo II Viviendas Monitorizadas). La *Tabla 39* y *Tabla 40* muestran temperaturas y consumos eléctricos.

Los resultados más eficientes en las viviendas del edificio de la Avda. Rodríguez Ayuso vienen acompañados de un gasto energético en climatización inferior al de la vivienda sin aislar lo cual ratifica el ahorro energético de aislar edificios de vieja construcción.

	Semana del 7 al 14 de agosto de 2022				23 al 30 de Junio de 2019	
	Exterior vivienda	Tª P1 (5ª-3ª)	Tª P2 (3ª-3ª)	Tª P3 (1ª-1ª)	Exterior vivienda	Tª VSR (4ª-4ª)
Tª máxima (°C)	45,20	34,60	33,10	31,10	48,19	32,1
Tª mínima (°C)	26,10	28,90	30,10	27,80	23,2	20,9
Tª promedio (°C)	33,50	32,05	31,61	29,88	31,59	27,01
Desviación típica	4,79	1,23	0,58	0,78	5,56	2,23
Consumo medio electricidad (W/h)		69.094		42.236		79.357

Tabla 39. Comparación temperaturas y consumos semana agosto 2022 y semana junio

Vivienda	Días facturados	Consumo ELEC. facturado (Wh)	Consumo ELEC. a la semana (Wh)
P1 (5 <sup>º</sup> -3 <sup>ª</sup> )	32	315.858	69.094
P2 (5 <sup>º</sup> -3 <sup>ª</sup> )	31	201.782	45.564
P3 (1 <sup>º</sup> -1 <sup>ª</sup> )	29	174.979	42.236
T <sup>ª</sup> VSR (4 <sup>º</sup> -4 <sup>ª</sup> )	7		79.357

Tabla 40. Consumos de electricidad verano según facturas mensuales y semanal

Las últimas facturas conseguidas llegan, en P2 y P3, hasta el mes de julio lo cual impide cruzar datos de temperatura con consumos medios diarios de electricidad en el mes de agosto en estas viviendas, sin embargo si se pueden cruzar con la vivienda P1 ya que la última factura eléctrica conseguida cubre hasta el día 13 de septiembre.

En P3, se ha tomado la factura de consumos del 11 de julio de 2022 al 9 de agosto de 2022 que es la última factura conseguida de esta vivienda y cubre un par de días del periodo contemplado.

En P2 se ha tomado la factura de consumos del 29 de junio de 2022 al 30 de julio de 2022 que es la última factura conseguida de esta vivienda.

## Análisis termográfico

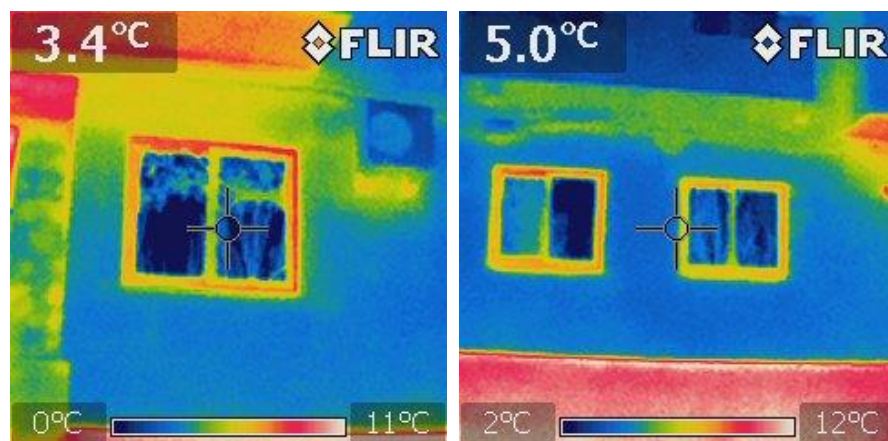
De cara a la comprobación de la eficacia de la rehabilitación térmica del edificio se han realizado diferentes termografías

Los Parámetros utilizados en la toma de termografías han sido:

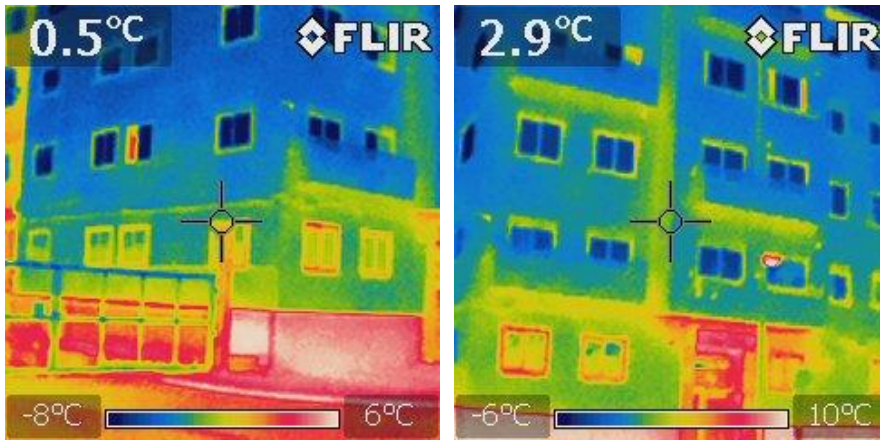
- Tomadas el 1 y 2 de abril de 2022 entre las 20h y las 21h
- Temperatura exterior: 8°C y 9°C
- Humedad relativa: 50% y 33%
- Distancia: 10m a 40m aprox.
- Emisividad: 0,9
- Cámara termográfica: Flir i7
- Resolución IR: 120 x 120

### Termografías. Puentes térmicos

Aunque se han disminuido las pérdidas en puentes térmicos y se ve la continuación del aislante SATE en parte de la fachada, también se observan pérdidas térmicas en diferentes partes de la envolvente del edificio como en los marcos exteriores de las dobles ventanas (*Termografía 1*), puentes térmicos en la solera que separa la planta primera de la segunda y en los puentes térmicos de la unión del mirador con la fachada principal del edificio (*Termografía 2*).

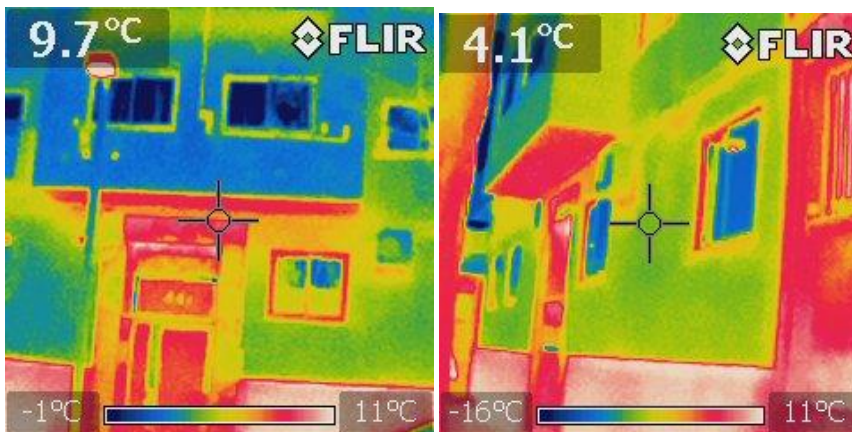


Termografía 1. Pérdidas de calor en marcos dobles ventanas



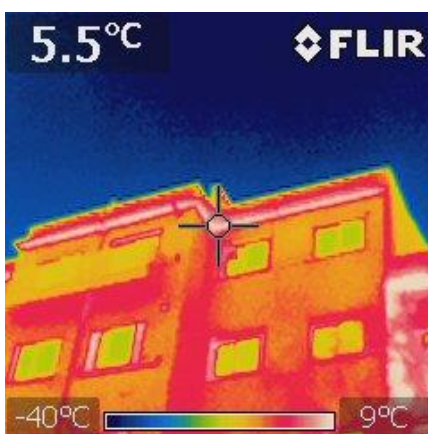
Termografía 2. Pérdidas puentes térmicos en solera y en la unión del mirador con la fachada principal del edificio

En la *Termografía 3* se puede apreciar como la entrada al edificio supone la mayor fuente constante de pérdidas de calor del edificio. Llama la atención el calor detectado en el saliente del mirador situado encima de la puerta de entrada.



Termografía 3. Pérdidas de calor en el edificio a través de la puerta de entrada al bloque

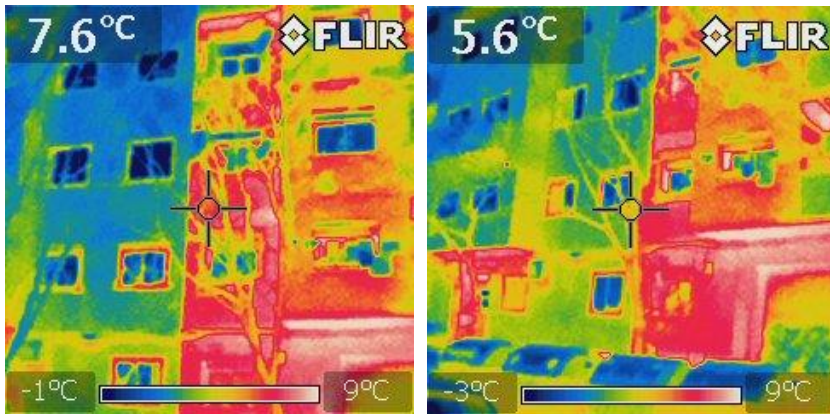
Otro foco de pérdidas de calor que se observa perfectamente, es el puente térmico del pequeño saliente situado en la parte superior del edificio y que es la continuación de la solera bajo cubierta (*Termografía 4*). Estas pérdidas disminuyen la eficiencia energética de las tres viviendas bajo cubierta piso.



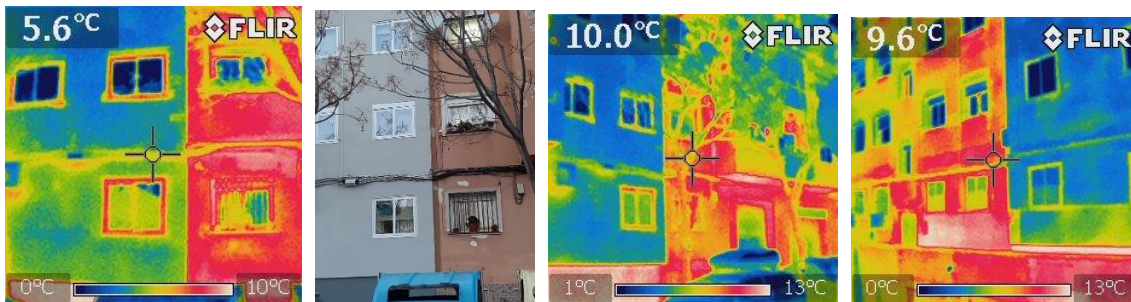
Termografía 4. Pérdidas en saliente solera bajo cubierta

### Termografías. Comparaciones

A pesar de las pérdidas comentadas, al comparar las pérdidas de calor en el edificio con el bloque N.º 52 (bloque construido bajo el mismo proyecto materiales y año), se puede apreciar con toda claridad la mejora térmica en el edificio (*Termografía 6 y 5*).



*Termografía 6. Comparativa fachada principal*



*Termografías 7. Comparación de pérdidas energéticas con bloques contiguos*

En la *Termografía 6* y *Termografías 7* se observan claramente que las pérdidas de calor en el bloque continuo, sin rehabilitar, son mucho mayores y los puentes térmicos se ven con mucha mayor claridad.

## Consumos anuales de gas

Los consumos totales de gas se han sacado a partir de las facturas de las tres viviendas de muestra. Los cálculos y tablas están recogidos en el libro Excel: *Consumos - Resultados y Comparaciones.xlsx*

Dado que las últimas facturas de gas conseguidas en las tres viviendas son del 23/05/2022 al 25/07/2022, y que las obras de rehabilitación energética del edificio van desde octubre de 2020 hasta principios de julio de 2021 se han tomado como referencia de inicio de cada periodo anual las facturas de mediados de julio; de este modo se han organizado las facturas gasísticas en tres periodos, tal y como muestra la tabla 41.

- Periodo 1. Del 19/07/2019 al 23/09/2019 → Edificio SIN Rehabilitar → Año 21 - 22
- Periodo 2. Del 23/07/2020 al 18/09/2020 → Edificio en obras. → Año 21 - 22
- Periodo 3. Del 20/07/2021 al 21/09/2021 → Edificio totalmente rehabilitado. → Año 21 - 22

Consumos GAS Facturados de Fecha inicio a Fecha fin		CONSUMO GAS							
		P1 (5 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )		P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )		P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> )			
		m3	kWh	m3	kWh	m3	kWh		
17/05/2019	19/07/2019		126		23		138	Verano 2019	Año Edificio SIN rehabilitar
19/07/2019	23/09/2019		115		12		93		
23/09/2019	20/11/2019		439		220		475		
20/11/2019	22/01/2020	199	2.299		1.149	127	1.474	Invierno 19-20	
22/01/2020	23/03/2020	141	1.623		520	182	2.105		
23/03/2020	21/05/2020	42	483		173	6	69	PADEMIA	
21/05/2020	23/07/2020	23	265		46	7	81	Verano 2020	
23/07/2020	18/09/2020	13	149	3	35	4	46		
18/09/2020	19/11/2020	24	275	15	173	59	680	Invierno 20-21	Año obras rehabilitación
19/11/2020	30/01/2021	108	1.242	94	1.086	226	2.612		
30/01/2021	25/03/2021	70	803	18	207	110	1.268		
25/03/2021	20/05/2021	39	447	4	46	50	576		
20/05/2021	20/07/2021	25	288	2	23	7	81	Verano 2021	
20/07/2021	21/09/2021	20	230	1	12	3	35		
21/09/2021	30/09/2021	4	46	3	35	6	67	Año edificio Rehabilitado	
30/09/2021	22/11/2021	30	345	23	266	34	395		
22/11/2021	24/01/2022	209	2.403	27	312	147	1.698		Invierno 21-22
24/01/2022	22/03/2022	70	802	43	495	114	1.312		
22/03/2022	23/05/2022	38	434	10	115	42	482		GUERRA
23/05/2022	25/07/2022	18	206	1	11	4	46		Verano 2022
25/07/2022	21/09/2022	17	195						

Tabla 41. Consumos de GAS facturados en periodos contemplados

## Consumo TOTAL de gas

En la tabla 42 quedan reflejados, según facturas, los consumos anuales de gas, en las viviendas monitorizadas. Como ya se ha indicado el año comienza a mediados de julio.



Consumos de GAS Anuales P1 (5º-3ª)					
	19 - 20	20 - 21	21 - 22	% Ahorro 21-22 respecto a 19-20	% Ahorro 21-22 respecto a 20-
Consumos GAS año (kWh/año)	5.223	3.206	4.465	-14,5%	39,3%
Consumo GAS medio diario (kWh/día)	14,31	8,78	12,23		
Consumos de GAS Anuales P2 (3º-3ª)					
	19 - 20	20 - 21	21 - 22	% Ahorro 21-22 respecto a 19-20	% Ahorro 21-22 respecto a 20-
Consumos GAS año (kWh/año)	2.121	1.571	1.245	-41,3%	-20,7%
Consumo GAS medio diario (kWh/día)	5,81	4,30	3,41		
Consumos de GAS Anuales P3 (1º-1ª)					
	19 - 20	20 - 21	21 - 22	% Ahorro 21-22 respecto a 19-20	% Ahorro 21-22 respecto a 20-
Consumos GAS año (kWh/año)	4.298	5.263	4.034	-6,1%	-23,4%
Consumo GAS medio diario (kWh/día)	11,77	14,42	11,05		

Tabla 42. Consumos anuales (de julio a julio) de Gas y ahorros porcentuales en viviendas

Se observa que el consumo mayor se da en la vivienda P1, este dato es acorde a las altas temperaturas registradas en dicha vivienda en invierno.

Como es de esperar la vivienda situada en entreplantas (P2) es la vivienda con menores consumos.

Sin tener en cuenta los consumos del periodo de obras (20 – 21) se aprecia un porcentaje de ahorro en las tres viviendas, si bien en la vivienda P3 es muy pequeño (6,1% menos de consumo de gas al año respecto al gasto anual previo a las obras).

### Consumo total de GAS por m2 y año

De cara a realizar las comparaciones de resultados con la simulación en HULC es necesario obtener el dato de consumos energéticos por m2 de vivienda.

Consumos de GAS Anuales por m2 P1 (5º-3ª)			
	19 - 20	20 - 21	21 - 22
Consumo medio anual GAS (kWh/año)	5.223	3.206	4.465
Consumo medio anual GAS por m2 (kWh/m2año)	111,9	68,7	95,7
Superficie P1 (5º-3ª) (m2)	46,67		
Consumos de GAS Anuales por m2 P2 (3º-3ª)			
	19 - 20	20 - 21	21 - 22
Consumo medio anual GAS (kWh/año)	2.121	1.571	1.245
Consumo medio anual GAS por m2 (kWh/m2año)	45,5	33,7	26,7
Superficie P2 (3º-3ª) (m2)	46,67		
Consumos de GAS Anuales por m2 P3 (1º-1ª)			
	19 - 20	20 - 21	21 - 22
Consumo medio anual GAS (kWh/año)	4.298	5.263	4.034
Consumo medio anual GAS por m2 (kWh/m2año)	98,3	120,4	92,3
Superficie P3 (1º-1ª) (m2)	43,7		

Tabla 43. Consumos de gas anuales por m2 en viviendas

### Consumo de gas para ACS.

Para cuantificar el consumo de ACS en las viviendas de muestra se deben tener en cuenta dos factores:

- Consumos de gas reflejados en las facturas en los meses de verano, meses donde la calefacción no está operativa y todo el consumo de gas se debe al ACS.
- Fechas en que los hogares están habitados. Este dato (ocupación de viviendas en verano) nos lo dan las entrevistas y las monitorizaciones de temperaturas en verano en viviendas.

Aunque lo mencionado son las condiciones óptimas, la realidad es que facturas bimensuales de consumos de gas no permiten discernir entre semanas de ocupación y semanas donde las viviendas han estado vacías. Medir consumos de ACS en verano tampoco tiene en cuenta que en invierno el consumo de ACS es mayor que en verano.

Con las limitaciones expuestas, la estrategia seguida para la estimación del consumo y cálculo de los kWh/año de ACS ha sido:

- Medir los consumos de gas en la factura correspondiente a finales de mayo y finales de julio. Periodo cálido donde es más probable que las viviendas estén ocupadas y que todo el consumo de gas sea en ACS.
- Sacar la media diaria, en el periodo elegido, del consumo de energía en ACS.
- Multiplicar la media diaria de ACS por 365 para sacar el consumo medio anual de ACS (kWh/año)
- Dividir el consumo medio anual de ACS entre la superficie de la vivienda correspondiente para sacar el consumo medio anual ACS por m<sup>2</sup> (kWh/m<sup>2</sup>año)

Con lo indicado se ha obtenido la *Tabla 44*.

Consumos ACS P1 (5 <sup>º</sup> -3 <sup>ª</sup> ) (Consumo de gas en verano)		2020	2021	2022
Consumos (kWh) (entre finales de mayo y finales de julio)		264,82	288,45	205,67
Consumo medio diario (kWh/día):		4,20	4,73	3,26
Consumo medio anual ACS (kWh/año)		1.534,29	1.725,97	1.191,57
Consumo medio anual ACS por m <sup>2</sup> (kWh/m <sup>2</sup> año)		32,87521	36,98246	25,53179
Superficie P1 (5 <sup>º</sup> -3 <sup>ª</sup> ) (m <sup>2</sup> )		46,67		
Consumos ACS P2 (3 <sup>º</sup> -3 <sup>ª</sup> ) (Consumo de gas en verano)		2020	2021	2022
Consumos (kWh) (entre finales de mayo y finales de julio)		46,28	23,18	11,48
Consumo medio diario (kWh/día):		0,73	0,38	0,18
Consumo medio anual ACS (kWh/año)		268,13	138,72	66,51
Consumo medio anual ACS por m <sup>2</sup> (kWh/m <sup>2</sup> año)		5,75	2,97	1,43
Superficie P1 (5 <sup>º</sup> -3 <sup>ª</sup> ) (m <sup>2</sup> )		46,67		
Consumos ACS P3 (1 <sup>º</sup> -1 <sup>ª</sup> ) (Consumo de gas en verano)		2020	2021	2022
Consumos (kWh) (entre finales de mayo y finales de julio)		80,98	81,14	45,92
Consumo medio diario (kWh/día):		1,29	1,33	0,73
Consumo medio anual ACS (kWh/año)		469,19	485,53	266,04
Consumo medio anual ACS por m <sup>2</sup> (kWh/m <sup>2</sup> año)		10,74	11,11	6,09
Superficie P1 (5 <sup>º</sup> -3 <sup>ª</sup> ) (m <sup>2</sup> )		43,7		

*Tabla 44. Consumos de gas en ACS por vivienda*

Observando la tabla 44 se pueden ver como el consumo de gas en ACS (en el periodo finales de mayo a finales de julio) disminuye en todas las viviendas en el año 2022 respecto a los años anteriores (2020 y 2021) en que se mantiene prácticamente igual en dos de los hogares. Esta disminución **no puede ser atribuible a la rehabilitación energética del edificio** ya que esta no influye en el consumo de ACS. La explicación más plausible está en menores consumos por ausencias más prolongadas, en tiempo primaveral y estival, de las viviendas tras las restricciones ocasionadas por la pandemia.

En el caso más extremo (vivienda P2) se observa un disminución del consumo de gas en ACS, de casi la mitad, de año en año. La explicación hay que buscarla en la mayor ausencia de la única ocupante de la vivienda. En la entrevista realizada con la propietaria de la vivienda, esta indica ausencias de casa durante partes del año por motivos de salud así como estancias en “el pueblo” y en “casa de las hijas” sin llegar a especificar periodos.

## Consumo de gas para calefacción

Dada la ausencia de sensores en los contadores de gas que midan el consumo hora a hora y dado que las facturas son bimensuales sin posibilidad de discernir en qué momento concreto del mes se consumió que cantidad de energía, **los resultados obtenidos son estimaciones**. Aproximaciones no exactas pero sí útiles para señalar el ahorro energético en cada periodo elegido.

En las viviendas de muestra los únicos consumos de gas son ACS y calefacción (las tres cocinas son eléctricas). El consumo anual de gas en las viviendas monitorizadas se halla a partir del consumo de energía empleada en ACS anual.

El consumo de gas para calefacción se obtendrá restando el consumo anual de gas para ACS del consumo total al año de gas. La *Tabla 45* muestra los consumos anuales, diario, por m<sup>2</sup> de vivienda y el porcentaje de ahorro (o de incremento de consumo).

Consumos CALEFACCION (gas) P1 (5 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )	19 - 20	20 - 21	21 - 22	% Ahorro 21-22 respecto a 19-20	% Ahorro 21-22 respecto a 20-21
Consumos CALEFACCION anual (kWh/año) (año comienza finales de julio)	5.223,49	3.205,68	4.464,75	-14,5%	39,3%
Consumo GAS medio diario (kWh/día):	14,31	8,78	12,23		
<b>Consumo medio anual GAS por m<sup>2</sup> (kWh/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>111,92</b>	<b>68,69</b>	<b>95,67</b>		
Superficie P1 (5 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> ) (m <sup>2</sup> )	46,67				
Consumos CALEFACCION (gas) P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )	19 - 20	20 - 21	21 - 22	% Ahorro 21-22 respecto a 19-20	% Ahorro 21-22 respecto a 20-21
Consumos CALEFACCION anual (kWh/año) (año comienza finales de julio)	2.121,18	1.570,64	1.244,74	-41,3%	-20,7%
Consumo GAS medio diario (kWh/día):	5,81	4,30	3,41		
<b>Consumo medio anual GAS por m<sup>2</sup> (kWh/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>45,45</b>	<b>33,65</b>	<b>26,67</b>		
Superficie P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> ) (m <sup>2</sup> )	46,67				
Consumos CALEFACCION (gas) P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> )	19 - 20	20 - 21	21 - 22	% Ahorro 21-22 respecto a 19-20	% Ahorro 21-22 respecto a 20-21
Consumos CALEFACCION anual (kWh/año) (año comienza finales de julio)	4.297,50	5.263,46	4.034,30	-6,1%	-23,4%
Consumo GAS medio diario (kWh/día):	11,77	14,42	11,05		
<b>Consumo medio anual GAS por m<sup>2</sup> (kWh/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>98,34</b>	<b>120,45</b>	<b>92,32</b>		
Superficie P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> ) (m <sup>2</sup> )	43,7				

Tabla 45. Consumos de gas en calefacción en cada vivienda monitorizada

Las observaciones que se pueden obtener del análisis de la *Tabla 45* son las mismas que las realizadas para el consumo total de gas, de hecho, los porcentajes de ahorro, debidos a la rehabilitación energética son los mismos.

- Mayor consumo de gas para calefacción en vivienda bajo cubierta P1.
- Menor consumo en vivienda situada en entreplantas P2.
- Menores consumos en viviendas, tras rehabilitación respecto al periodo 19 - 20

Como ya indicamos los porcentajes de ahorro son modestos y no justificarían la gran inversión que supone la rehabilitación energética del edificio. Si bien algunos de los condicionantes se pueden explicar a partir de los hábitos energéticos de los ocupantes de las viviendas, falta considerar los impactos que en el consumo han tenido dos sucesos, **la pandemia mundial y la guerra de Ucrania** con la consiguiente crisis energética. A día de hoy faltan estudios que midan estos dos condicionantes adecuadamente.

## Porcentajes de consumo de ACS y Calefacción

De acuerdo con los gastos facturados y a las estimaciones realizadas para el cálculo de consumos de gas en ACS y en Calefacción los porcentajes de uno y otro, respecto al total, son los representados en la *Tabla 46*.

Proporcion consumo ACS - Calefacción		19 - 20	20 - 21	21 - 22
P1 (5 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )	ACS	29%	54%	27%
	CALEFACCION	71%	46%	73%
P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )	ACS	13%	9%	5%
	CALEFACCION	87%	91%	95%
P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> )	ACS	11%	9%	7%
	CALEFACCION	89%	91%	93%

*Tabla 46. Porcentajes de consumos de gas en ACS y en Calefacción en cada vivienda monitorizada*

- La vivienda que mantiene mayor regularidad en los diferentes años es la P3.
- Los porcentajes de consumo de gas en calefacción estaban en torno al 90% respecto al 10% en ACS en P2 y P3 (un solo ocupante de edad avanzada en cada vivienda) mientras que en P1 (pareja joven) el porcentaje sube de media al 60% de gastos en calefacción frente al 40% en ACS
- Llama la atención la subida de los consumos en ACS respecto a calefacción en P1. Observando la tabla 45 y 46 se ve que el consumo en ACS sufre pocas variaciones siendo el gasto en calefacción el que se reduce en el invierno del periodo 20 - 21.

Como se ha indicado anteriormente la pandemia y la crisis de la guerra pueden condicionar unos resultados que no parecen muy regulares, este condicionamiento se analiza en el apartado *Efectos Pandemia y Guerra* de esta sección.

Más adelante se comparan estos porcentajes con los resultados arrojados por la simulación en HULC y se verá que la mayor diferencia entre los consumos indicados por las facturas y los consumos simulados en HULC vendrá precisamente del consumo en ACS.

## Consumos anuales de electricidad

Los consumos de electricidad se han sacado a partir de las facturas de las tres viviendas de muestra. Los cálculos y tablas están recogidos en el libro Excel: *Consumos - Resultados y Comparaciones.xlsx*

La *Tabla 47* muestra los consumos eléctricos en las tres viviendas seleccionadas. Estos consumos, aunque no coincidentes en días, son mensuales lo cual hace que los análisis sean un poco más precisos que en las facturas bimensuales de gas.

Para realizar los análisis, al igual que en el consumo gasístico, las facturas se han organizado en tres periodos anuales que no coinciden en fechas exactas en ninguna de las viviendas y van de primeros de julio a primeros de julio.

- Periodo 1. Julio 2019 a julio 2020 → Edificio SIN Rehabilitado → Año 21 - 22
- Periodo 2. Julio 2020 a julio 2021 → Edificio en obras. → Año 21 - 22
- Periodo 3. Julio 2021 a julio 2022 → Edificio totalmente rehabilitado. → Año 21 - 22

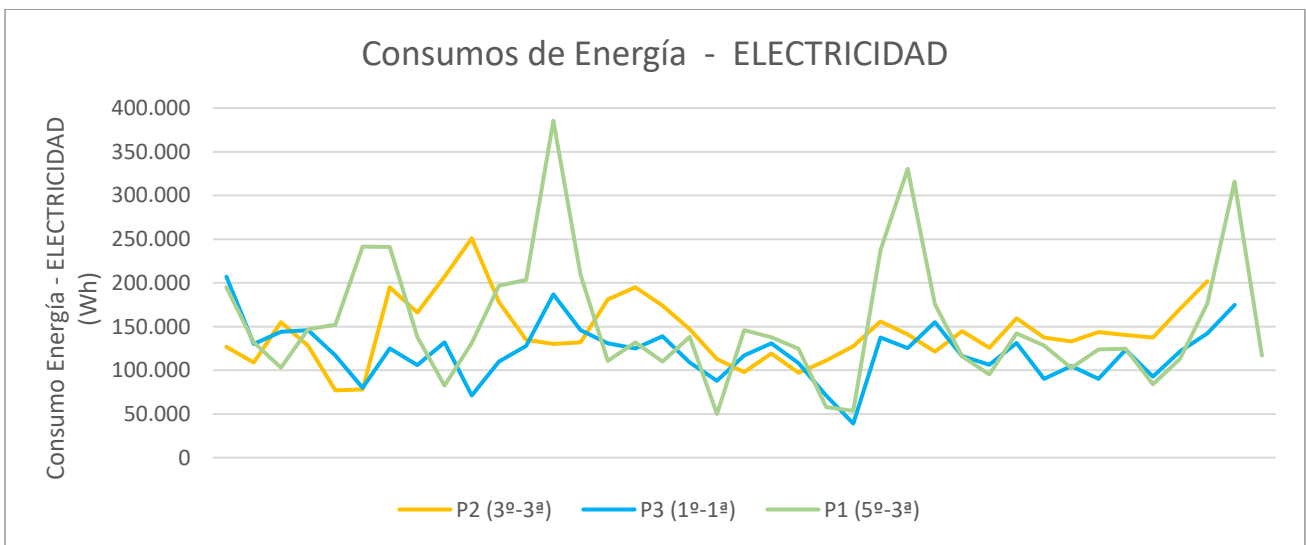
También se han señalado en la tabla el inicio de la Pandemia y la guerra de Ucrania, factores condicionantes del consumo energético.

CONSUMO ELECTRICIDAD																	
Consumos ELECTRICIDAD P3 (1º - 1ª)				Consumos ELECTRICIDAD P2 (3º - 3ª)				Consumos ELECTRICIDAD P1 (5º - 3ª)									
Nº Dias	Consumos de Fecha inicio a Fecha fin		Consumo total ELECTRICIDAD (Wh)	Consumo medio (kWh/día)	Nº Dias	Consumos de Fecha inicio a Fecha fin		Consumo total ELECTRICIDAD (Wh)	Consumo medio (kWh/día)	Nº Dias	Consumos de Fecha inicio a Fecha fin		Consumo total ELECTRICIDAD (Wh)	Consumo medio (kWh/día)			
	27	12/06/2019	09/07/2019	165.000	6,11		27	12/06/2019	09/07/2019	128.000	4,74		27	16/06/2019	13/07/2019	157.000	5,81
	34	09/07/2019	12/08/2019	207.000	6,09		34	09/07/2019	12/08/2019	127.000	3,74		32	13/07/2019	14/08/2019	195.000	6,09
	29	12/08/2019	10/09/2019	130.000	4,48		29	12/08/2019	10/09/2019	109.000	3,76		31	14/08/2019	14/09/2019	132.000	4,26
96,00	30	10/09/2019	10/10/2019	144.000	4,80	83,00	30	10/09/2019	10/10/2019	155.000	5,17	93,00	29	14/09/2019	13/10/2019	103.000	3,55
	33	10/10/2019	12/11/2019	146.000	4,42		33	10/10/2019	12/11/2019	128.000	3,88		35	13/10/2019	17/11/2019	147.000	4,20
	33	12/11/2019	15/12/2019	117.000	3,55		20	12/11/2019	02/12/2019	77.000	3,85		29	17/11/2019	16/12/2019	152.000	5,24
	29	15/12/2019	13/01/2020	80.000	2,76		27	03/12/2019	30/12/2019	78.000	2,89		30	16/12/2019	15/01/2020	241.400	8,05
	30	13/01/2020	12/02/2020	125.000	4,17		33	30/12/2019	01/02/2020	195.000	5,91		32	15/01/2020	16/02/2020	241.000	7,53
	28	12/02/2020	11/03/2020	106.000	3,79		28	01/02/2020	29/02/2020	166.000	5,93		27	16/02/2020	14/03/2020	138.187	5,12
91,00	34	11/03/2020	14/04/2020	132.000	3,88	31	29/02/2020	31/03/2020	207.000	6,68	32	14/03/2020	15/04/2020	82.665	2,58		
	28	14/04/2020	12/05/2020	71.000	2,54	90,00	33	31/03/2020	03/05/2020	251.000	7,61	92,00	28	15/04/2020	13/05/2020	131.282	4,69
	29	12/05/2020	10/06/2020	110.000	3,79	26	03/05/2020	29/05/2020	178.000	6,85	32	13/05/2020	14/06/2020	196.666	6,15		
91,00	31	10/06/2020	11/07/2020	128.000	4,13	31	29/05/2020	29/06/2020	135.000	4,35	30	14/06/2020	14/07/2020	203.323	6,78		
	32	11/07/2020	12/08/2020	187.000	5,84	94,00	33	29/06/2020	01/08/2020	130.000	3,94	92,00	32	14/07/2020	15/08/2020	385.671	12,05
96,00	28	12/08/2020	09/09/2020	146.000	5,21	30	01/08/2020	31/08/2020	132.000	4,40	30	15/08/2020	14/09/2020	209.141	6,97		
	33	09/09/2020	12/10/2020	131.000	3,97	29	31/08/2020	29/09/2020	181.000	6,24	31	14/09/2020	15/10/2020	110.813	3,57		
	30	12/10/2020	11/11/2020	125.000	4,17	90,00	33	29/09/2020	01/11/2020	195.000	5,91	92,00	32	15/10/2020	16/11/2020	131.865	4,12
	33	11/11/2020	14/12/2020	139.000	4,21	28	01/11/2020	29/11/2020	174.000	6,21	29	16/11/2020	15/12/2020	110.075	3,80		
	31	14/12/2020	14/01/2021	109.000	3,52	34	29/11/2020	02/01/2021	147.000	4,32	34	15/12/2020	18/01/2021	138.251	4,07		
	27	14/01/2021	10/02/2021	88.000	3,26	29	02/01/2021	31/01/2021	113.000	3,90	27	18/01/2021	14/02/2021	140.000	1,85		
91,00	28	10/02/2021	10/03/2021	117.000	4,18	28	31/01/2021	28/02/2021	98.000	3,50	28	14/02/2021	14/03/2021	50.000	5,21		
	35	10/03/2021	14/04/2021	131.000	3,74	35	28/02/2021	04/04/2021	119.000	3,40	35	14/03/2021	18/04/2021	137.838	3,94		
	30	11/04/2021	12/05/2021	108.000	3,86	120,00	34	04/04/2021	02/05/2021	97.000	3,46	91,00	28	18/04/2021	16/05/2021	124.571	4,45
	19	12/05/2021	31/05/2021	71.000	3,74	29	02/05/2021	31/05/2021	111.000	3,83	15	16/05/2021	31/05/2021	57.807	3,85		
	9	31/05/2021	09/06/2021	39.057	4,34	28	31/05/2021	28/06/2021	127.526	4,55	13	31/05/2021	13/06/2021	53.734	4,13		
	32	09/06/2021	11/07/2021	137.416	4,29	33	28/06/2021	31/07/2021	155.637	4,72	28	13/06/2021	11/07/2021	237.503	8,48		
94,00	27	11/07/2021	07/08/2021	125.219	4,64	93,00	30	31/07/2021	30/08/2021	141.011	4,70	92,00	33	11/07/2021	13/08/2021	330.619	10,02
	35	07/08/2021	11/09/2021	155.022	4,43	30	30/08/2021	29/09/2021	121.227	4,04	31	13/08/2021	13/09/2021	175.694	5,67		
94,00	30	11/09/2021	11/10/2021	116.363	3,88	32	29/09/2021	31/10/2021	144.734	4,52	33	13/09/2021	16/10/2021	115.832	3,51		
	30	11/10/2021	10/11/2021	106.368	3,55	94,00	27	31/10/2021	29/11/2021	125.715	4,66	93,00	29	16/10/2021	14/11/2021	95.404	3,29
	34	10/11/2021	14/12/2021	131.132	3,86	35	27/11/2021	01/01/2022	159.395	4,55	31	14/11/2021	15/12/2021	142.391	4,59		
	29	14/12/2021	12/01/2022	90.208	3,11	29	01/01/2022	30/01/2022	137.467	4,74	32	15/12/2021	16/01/2022	128.395	4,01		
	28	12/01/2022	09/02/2022	104.914	3,75	28	30/01/2022	27/02/2022	133.196	4,76	26	16/01/2022	11/02/2022	102.505	3,94		
	26	09/02/2022	07/03/2022	90.250	3,47	31	27/02/2022	30/03/2022	143.596	4,63	30	11/02/2022	13/03/2022	123.757	4,13		
96,00	35	07/03/2022	11/04/2022	123.505	3,53	91,00	32	30/03/2022	01/05/2022	140.478	4,39	35	13/03/2022	17/04/2022	124.536	3,56	
	28	11/04/2022	09/05/2022	92.898	3,32	29	01/05/2022	30/05/2022	137.459	4,74	92,00	26	17/04/2022	13/05/2022	84.073	3,23	
	33	09/05/2022	11/06/2022	121.739	3,69	30	30/05/2022	29/06/2022	170.453	5,68	31	13/05/2022	13/06/2022	113.173	3,65		
	30	11/06/2022	11/07/2022	142.252	4,74	31,00	31	29/06/2022	30/07/2022	201.782	6,51	30	13/06/2022	13/07/2022	176.365	5,88	
	59,00	29	11/07/2022	09/08/2022	174.979	6,03					92,00	32	13/07/2022	14/08/2022	315.858	9,87	
											30	14/08/2022	13/09/2022	117.086	3,90		

Tabla 47. Consumos de ELECTRICIDAD facturados en periodos contemplados

### Consumo TOTAL de electricidad

De acuerdo con los consumos facturados se obtiene la Gráfica 25.



Gráfica 25. Consumos eléctricos según facturas

En la *Tabla 48* quedan reflejados, según facturas, los consumos anuales de electricidad, en las viviendas monitorizadas. Como ya se ha indicado el año comienza a principios de julio.

Consumos de ELECTRICIDAD <b>Anuales</b> P1 (5 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )					
	19 - 20	20 - 21	21 - 22	% Ahorro 21-22 respecto a 19-20	% Ahorro 21-22 respecto a 20-21
Consumos ELECTRICIDAD año (kWh/año)	1.964	1.893	1.713	-12,8%	-9,5%
Consumo ELECTRICIDAD medio diario (kWh/día):	5,38	5,19	4,69		

Consumos de ELECTRICIDAD <b>Anuales</b> P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )					
	19 - 20	20 - 21	21 - 22	% Ahorro 21-22 respecto a 19-20	% Ahorro 21-22 respecto a 20-21
Consumos ELECTRICIDAD año (kWh/año)	1.806	1.780	1.757	-2,7%	-1,3%
Consumo ELECTRICIDAD medio diario (kWh/día):	4,95	4,88	4,81		

Consumos de ELECTRICIDAD <b>Anuales</b> P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> )					
	19 - 20	20 - 21	21 - 22	% Ahorro 21-22 respecto a 19-20	% Ahorro 21-22 respecto a 20-21
Consumos ELECTRICIDAD año (kWh/año)	1.496	1.528	1.400	-6,4%	-8,4%
Consumo ELECTRICIDAD medio diario (kWh/día):	4,10	4,19	3,84		

Tabla 48. Consumos anuales (de julio a julio) de Electricidad y ahorros porcentuales en viviendas

Resulta curioso observar cómo los consumos eléctricos en las viviendas P1 y P3 son similares, teniendo en cuenta el hecho de que la vivienda P2 carece de sistema de refrigeración y la vivienda P1 sí que lo tiene, y que estos consumos, en P2, sean superiores a la vivienda P3 que también dispone de sistema de refrigeración eléctrico.

Observando los consumos eléctricos en la *Tabla 47* y la *Gráfica 25* de la vivienda P2, se aprecia un mayor consumo eléctrico en la primavera de inicio de la pandemia (este aspecto se analizará más adelante en otro apartado). Igualmente se observan consumos, en los periodos cálidos, menores a los consumos de P2 en otras estaciones del año y mucho más pequeños que en los periodos estivales de la vivienda P1. Estas observaciones están en consonancia con la mayor desocupación del piso P2 en el verano y con la ausencia de sistema de refrigeración en esta vivienda.

### Consumo total de ELECTRICIDAD por m<sup>2</sup> y año

De cara a realizar las comparaciones de resultados con la simulación en HULC es necesario obtener los consumos energéticos en electricidad anuales por m<sup>2</sup> de vivienda.

Consumos de ELECTRICIDAD <b>Anuales por m<sup>2</sup></b> P1 (5 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )			
	19 - 20	20 - 21	21 - 22
Consumo medio anual ELECTRICIDAD (kWh/año)	1.964	1.893	1.713
<b>Consumo medio anual ELECTRICIDAD por m<sup>2</sup> (kWh/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>42,07</b>	<b>40,57</b>	<b>36,70</b>
Superficie P1 (5 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> ) (m <sup>2</sup> )	46,67		

Consumos de ELECTRICIDAD <b>Anuales por m<sup>2</sup></b> P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )			
	19 - 20	20 - 21	21 - 22
Consumo medio anual ELECTRICIDAD (kWh/año)	1.806	1.780	1.757
<b>Consumo medio anual ELECTRICIDAD por m<sup>2</sup> (kWh/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>38,70</b>	<b>38,14</b>	<b>37,64</b>
Superficie P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> ) (m <sup>2</sup> )	46,67		

Consumos de ELECTRICIDAD <b>Anuales por m<sup>2</sup></b> P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> )			
	19 - 20	20 - 21	21 - 22
Consumo medio anual ELECTRICIDAD (kWh/año)	1.496	1.528	1.400
<b>Consumo medio anual ELECTRICIDAD por m<sup>2</sup> (kWh/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>34,23</b>	<b>34,98</b>	<b>32,03</b>
Superficie P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> ) (m <sup>2</sup> )	43,7		

Tabla 49 Consumos anuales de electricidad por m<sup>2</sup> en viviendas

### Consumo de electricidad para refrigeración

Dada la ausencia de monitorizaciones en los contadores eléctricos que midan el consumo hora a hora y dado que las facturas son mensuales sin posibilidad de discernir en qué momento concreto del mes se consumió

que cantidad de energía, **los resultados obtenidos son estimaciones**. Aproximaciones no exactas pero si útiles para señalar el incremento de consumo eléctrico en verano debido a los sistema de refrigeración.

Para determinar con la mayor exactitud posible los consumos eléctricos en refrigeración en P1 y P3 se ha de elegir una época del año donde los consumos sean los debidos a consumos usuales, consumos que también se den en verano y cuya diferencia sea solo la refrigeración y restar estos consumos de los originados en el trimestre estival.

Los pasos seguidos para la estimación del consumo y cálculo de los kWh/año de consumo eléctrico en refrigeración ha sido:

- Como consumos usuales sin refrigeración se ha tomado la media de los consumos en primavera y otoño (al considerar estos consumos más estables y fiables que los de invierno donde hay menos horas de luz y puede haber mayores consumos en cocinas, hornos, calentadores eléctricos, ... que aumenten el gasto).
- A la media de consumos usuales (primavera - otoño) se le ha restado los consumos eléctricos en verano. El resultado se ha tomado como estimación del consumo eléctrico en refrigeración anual.
- La media diaria anual del consumo eléctrico en refrigeración se ha obtenido al dividir el consumo eléctrico en refrigeración anual por 365.
- El consumo medio anual por m<sup>2</sup> (kWh/m<sup>2</sup>año) se ha obtenido al dividir el consumo eléctrico en refrigeración al año entre la superficie de la vivienda correspondiente.

En el caso de la vivienda P3 (1<sup>º</sup>-1<sup>ª</sup>), al no disponer de la última factura del periodo estival 2022 se ha estimado el consumo de esa última factura cogiendo el consumo medio diario mensual del año anterior (2021) donde ya estaban realizadas todas las obras de rehabilitación. también se han supuesto mismos hábitos de consumo y días de permanencia en el hogar.

Con lo indicado se han sacado la *Tabla 50* y la *Tabla 51*.

<b>Consumos REFRIGERACIÓN (electricidad) P1 (5<sup>º</sup>-3<sup>ª</sup>)</b>	<b>19 - 20</b>	<b>20 - 21</b>	<b>21 - 22</b>		
Consumos (kWh) Otoño	402,00	352,75	353,63		
Consumos (kWh) Primavera	410,61	373,95	321,78		
<b>Consumos electricidad promedio primavera - otoño (kWh)</b>	<b>406,31</b>	<b>363,35</b>	<b>337,70</b>		
Consumo ELECTRICIDAD medio diario Otoño - Primavera (kWh/día):	<b>4,39</b>	3,97	<b>3,65</b>		
<b>Consumo electricidad Verano (kWh)</b>	<b>798,14</b>	743,82	<b>609,31</b>	<b>% Ahorro 21-22 respecto a 19-20</b>	<b>% Ahorro 21-22 respecto a 20-21</b>
<b>Estimación consumo en REFRIGERACION Verano (= anual) (kWh)</b>	<b>391,83</b>	380,46	<b>271,60</b>	<b>-30,7%</b>	<b>-28,6%</b>
Estimación Consumo REFRIGERACION medio diario (kWh/día):	<b>1,07</b>	1,04	<b>0,74</b>		
Estimación Consumo REFRIGERACION medio anual (kWh/año)	391,83	380,46	271,60		
<b>Estimación Consumo REFRIGERACION medio anual por m2 (kWh/m2año)</b>	<b>8,40</b>	8,15	<b>5,82</b>		
Superficie P1 (5 <sup>º</sup> -3 <sup>ª</sup> ) (m2)	46,67				

*Tabla 50. Estimación de consumos de energía eléctrica en refrigeración en vivienda P1 (5<sup>º</sup>-3<sup>ª</sup>)*

<b>Consumos REFRIGERACIÓN (electricidad) P1 (5<sup>º</sup>-3<sup>ª</sup>)</b>	<b>19 - 20</b>	<b>20 - 21</b>	<b>21 - 22</b>		
Consumos (kWh) Otoño	407,00	395,00	353,86		
Consumos (kWh) Primavera	313,00	349,06	338,14		
<b>Consumos electricidad promedio primavera - otoño (kWh)</b>	<b>360,00</b>	<b>372,03</b>	<b>346,00</b>		
Consumo ELECTRICIDAD medio diario Otoño - Primavera (kWh/día):	<b>3,85</b>	3,98	<b>3,64</b>		
<b>Consumo electricidad Verano (del 29/06/2022 a 30/07/2022 (kWh)</b>	<b>461,00</b>	417,66	<b>476,68</b>	<b>% Ahorro 21-22 respecto a 19-20</b>	<b>% Ahorro 21-22 respecto a 20-21</b>
<b>Estimación consumo en REFRIGERACION Verano (= anual) (kWh)</b>	<b>101,00</b>	45,63	<b>130,68</b>	<b>29,4%</b>	<b>186,4%</b>
Estimación Consumo REFRIGERACION medio diario (kWh/día):	<b>0,28</b>	0,13	<b>0,36</b>		
Estimación Consumo REFRIGERACION medio anual (kWh/año)	101,00	45,63	130,68		
<b>Estimación Consumo REFRIGERACION medio anual por m2 (kWh/m2año)</b>	<b>2,16</b>	0,98	<b>2,80</b>		
Superficie P3 (1 <sup>º</sup> -1 <sup>ª</sup> )	43,7				

*Tabla 51. Estimación de consumos de energía eléctrica en refrigeración en vivienda P3 (1<sup>º</sup>-1<sup>ª</sup>)*

Los resultados muestran datos que pueden parecer contradictorios, por un lado ahorros energéticos en refrigeración en torno al 30% en P1 y por otro lado sobreconsumos excesivos (30% y 186%) en P3. Los resultados no dejan de ser estimaciones con un cierto margen de error, no obstante, observando la *Gráfica 25* se ve como a principios del verano 2021 ha habido un descenso en el consumo eléctrico de la vivienda P3 que condiciona ese 186% de sobreconsumo el verano siguiente.

Los que si quedan claros son los altos consumos eléctricos en la vivienda P1 (ver *Gráfica 25*) de la vivienda P1 coincidentes con los periodos estivales.

Hay que tener en consideración que el sistema de aislamiento hace que los hogares sean más estables térmicamente, es decir, el calor acumulado en las viviendas tienen mayor dificultad para disminuir, con lo que al sistema de refrigeración de un piso aislado térmicamente le costará más reducir la temperatura interior de dicha vivienda que a una vivienda sin aislar, aunque una vez refrigerada le costará más calentarse compensándose en cierto sentido un efecto y el otro lo cual puede explicar en parte los rendimientos obtenidos.

### **Consumo de electricidad para calefacción**

Solo en dos de las 14 viviendas la calefacción es eléctrica ( ver *Tabla 5*). Se desconoce el sistema utilizado pero en ambos casos se ha supuesto, para su representación en HULC sendas calderas murales mixtas (Calefacción + ACS) de 10kW de potencia nominal.

Dado que en ninguna de ambas viviendas se han registrado consumos eléctricos, no es posible cuantificar su consumo eléctrico en calefacción.

## **Emisiones anuales de CO2**

A continuación se detallan las tablas con las emisiones de CO2 provenientes de los consumos energéticos en gas y electricidad.

Para su determinación se han multiplicado los consumos energéticos por el factor de paso correspondiente. 0,331 para los consumos eléctricos y 0,252 para los consumos de gas.

Dado que el factor de paso mayor es el de la energía eléctrica esto supondrá mayores emisiones de CO2 a igual tipo de energía consumida. Por otro lado como los factores de paso son constantes, las emisiones serán proporcionales a los consumos energéticos



### Emisiones anuales de CO2 por consumo de gas

En la *Tabla 52* se detallan las emisiones de CO2 anuales y por m<sup>2</sup> de cada vivienda monitorizada debidas al consumo de gas. La tabla también refleja los ahorros porcentuales en emisiones por viviendas tras la rehabilitación energética del edificio.

<b>Emisiones de CO2 anuales debidas al gas P1 (5º-3ª)</b>	<b>19 - 20</b>	<b>20 - 21</b>	<b>21 - 22</b>	<b>% Ahorro 21-22 respecto a 19-20</b>
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)	<b>1.316</b>	808	<b>1.125</b>	<b>-14,5%</b>
<b>Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>28,20</b>	17,31	<b>24,11</b>	
Superficie P1 (5º-3ª) (m <sup>2</sup> )	46,67			
<b>Emisiones de CO2 anuales debidas al gas P2 (3º-3ª)</b>	<b>19 - 20</b>	<b>20 - 21</b>	<b>21 - 22</b>	<b>% Ahorro 21-22 respecto a 19-20</b>
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)	<b>535</b>	396	<b>314</b>	<b>-41,3%</b>
<b>Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>11,45</b>	8,48	<b>6,72</b>	
Superficie P2 (3º-3ª) (m <sup>2</sup> )	46,67			
<b>Emisiones de CO2 anuales debidas al gas P3 (1º-1ª)</b>	<b>19 - 20</b>	<b>20 - 21</b>	<b>21 - 22</b>	<b>% Ahorro 21-22 respecto a 19-20</b>
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)	<b>1.083</b>	1.326	<b>1.017</b>	<b>-6,1%</b>
<b>Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>24,78</b>	30,35	<b>23,26</b>	
Superficie P3 (1º-1ª) (m <sup>2</sup> )	43,7			

Tabla 52. Emisiones anuales y por m<sup>2</sup> de CO2 de cada vivienda debidas al consumo de gas

### Emisiones anuales de CO2 debidas al ACS (gas)

<b>Emisiones de CO2 anuales debidas a ACS (gas) (kgCO2)</b>				<b>Porcentaje de ahorro de emisiones de CO2 21-22 respecto a 19-20</b>
<b>Emisiones de CO2 P1 (5º-3ª)</b>	<b>19 - 20</b>	<b>20 - 21</b>	<b>21 - 22</b>	
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)	<b>386,64</b>	434,94	<b>300,28</b>	<b>-22,3%</b>
<b>Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>8,28</b>	9,32	<b>6,43</b>	
Superficie P1 (5º-3ª) (m <sup>2</sup> )	46,67			
<b>Emisiones de CO2 P2 (3º-3ª)</b>	<b>19 - 20</b>	<b>20 - 21</b>	<b>21 - 22</b>	
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)	<b>67,57</b>	34,96	<b>16,76</b>	<b>-75,2%</b>
<b>Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>1,45</b>	0,75	<b>0,36</b>	
Superficie P2 (3º-3ª) (m <sup>2</sup> )	46,67			
<b>Emisiones de CO2 P3 (1º-1ª)</b>	<b>19 - 20</b>	<b>20 - 21</b>	<b>21 - 22</b>	
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)	<b>118,24</b>	122,35	<b>67,04</b>	<b>-43,3%</b>
<b>Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>2,71</b>	2,80	<b>1,53</b>	
Superficie P3 (1º-1ª) (m <sup>2</sup> )	43,7			

Tabla 53. Emisiones de CO2 anuales en cada vivienda debidas al consumo de ACS (gas)

## Emisiones anuales de CO2 debidas a la calefacción (gas)

Emisiones de CO2 anuales debidas a CALEFACCIÓN (gas) (kgCO2)				Porcentaje de ahorro de emisiones de CO2 21-22 respecto a 19-20
<u>Emisiones de CO2 P1 (5º-3º)</u>	19 - 20	20 - 21	21 - 22	
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)	929,68	372,89	824,84	-11,3%
<b>Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>19,92</b>	<b>7,99</b>	<b>17,67</b>	
Superficie P1 (5º-3º) (m2) 46,67				
<u>Emisiones de CO2 P2 (3º-3º)</u>	19 - 20	20 - 21	21 - 22	
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)	493,47	360,84	296,91	-39,8%
<b>Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>10,57</b>	<b>7,73</b>	<b>6,36</b>	
Superficie P2 (3º-3º) (m2) 46,67				
<u>Emisiones de CO2 P3 (1º-1º)</u>	19 - 20	20 - 21	21 - 22	
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)	964,74	1204,04	949,60	-1,6%
<b>Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>22,08</b>	<b>27,55</b>	<b>21,73</b>	
Superficie P3 (1º-1º) (m <sup>2</sup> ) 43,7				

Tabla 54. Emisiones de CO2 anuales en cada vivienda debidas a calefacción (gas)

## Emisiones anuales de CO2 por consumo eléctrico

Emisiones de CO2 anuales debidas a ELECTRICIDAD (kgCO2)				Porcentaje de ahorro de emisiones de CO2 21-22 respecto a 19-20
<u>Emisiones de CO2 P1 (5º-3º)</u>	19 - 20	20 - 21	21 - 22	
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)	494,81	477,10	431,61	-12,8%
<b>Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>10,60</b>	<b>10,22</b>	<b>9,25</b>	
uperficie P1 (5º-3º) (m2) 46,67				
<u>Emisiones de CO2 P2 (3º-3º)</u>	19 - 20	20 - 21	21 - 22	
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)	455,11	448,60	442,64	-2,7%
<b>Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>9,75</b>	<b>9,61</b>	<b>9,48</b>	
uperficie P2 (3º-3º) (m2) 46,67				
<u>Emisiones de CO2 P3 (1º-1º)</u>	19 - 20	20 - 21	21 - 22	
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)	376,99	385,18	352,77	-6,4%
<b>Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>8,63</b>	<b>8,81</b>	<b>8,07</b>	
uperficie P3 (1º-1º) (m <sup>2</sup> ) 43,7				

Tabla 55. Emisiones anuales de CO2 anuales debidas al consumo eléctrico

## Emisiones anuales de CO2 por consumos de los sistemas de refrigeración (electricidad)

Emisiones de CO2 anuales debidas a REFRIGERACIÓN (electricidad) (kgCO2)				Porcentaje de ahorro de emisiones de CO2 21-22 respecto a 19-20
<u>Emisiones de CO2 P1 (5º-3º)</u>	19 - 20	20 - 21	21 - 22	
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)	129,70	125,93	89,90	-30,7%
<b>Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>2,78</b>	<b>2,70</b>	<b>1,93</b>	
Superficie P1 (5º-3º) (m2) 46,67				
<u>Emisiones de CO2 P3 (1º-1º)</u>	19 - 20	20 - 21	21 - 22	
Emisiones de CO2 anuales (kg CO2/año)	33,43	15,10	43,25	29,4%
<b>Emisiones de CO2 anuales por m2 (kg CO2/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>0,77</b>	<b>0,35</b>	<b>0,99</b>	
Superficie P3 (1º-1º) (m <sup>2</sup> ) 43,7				

Tabla 56. Emisiones de CO2 anuales debidas a la refrigeración eléctrica

## Efectos Pandemia y Guerra

Los datos de consumos facturados con el comienzo de Pandemia y Guerra se pueden ver en el libro de Excel: *Consumos - Resultados y Comparacione.xlsx*. (Hojas: *Facturas y Consumos ELECT* y *Facturas y Consumos GAS*)

Una pandemia mundial, con la obligación, en los primeros meses, de permanecer en los hogares y un recorte en la libertad de movimientos después, debería haber incidido en un aumento de los consumos energéticos en las viviendas de muestra dada la mayor permanencia en los hogares.

Así, la pandemia tuvo consecuencias directas en el consumo eléctrico de algunas de las viviendas del edificio, concretamente se puede ver en la Tabla 57 como la persona que ocupa la vivienda P2 (3º-3ª) casi duplica su consumo respecto a la primavera del año anterior. De hecho los consumos en electricidad de este periodo son los más altos registrados en las facturas de este piso.

Consumos ELECTRICIDAD P2 (3º - 3ª)			
	Consumo total ELECTRICIDAD (Wh)		% de consumo respecto a Primavera 2020
	378.000	Primavera 2019	-40,6%
	360.000	Otoño 2019	-43,4%
<b>PANDEMIA</b>	<b>636.000</b>	<b>Primavera 2020</b>	0,0%
	550.000	Otoño 2020	-13,5%
	454.526	Primavera 2020	-28,5%

Tabla 57. Efecto pandemia en el consumo de electricidad de la vivienda P2

Respecto a la guerra, su efecto en la subida del precio del gas y electricidad debería influir en un menor consumo de estas energías en las viviendas de muestra, sin embargo al observar los consumos eléctricos, y gasísticos no se aprecian disminuciones de importancia, respecto a otros años, en ninguna de las viviendas de muestra.

### Consumo eléctrico. Pandemia

Como se ha dicho, el efecto Pandemia se ve muy claro en el caso del consumo eléctrico en la primavera de 2020 de la vivienda P2, sin embargo, no ocurre lo mismo en los otros dos hogares (P1 y P3) donde el consumo eléctrico es menor (Gráfica y Tabla 58). Estos comportamientos energéticos quedan claros en las entrevistas realizadas con las moradoras de las viviendas P2 y P3 donde la persona que ocupa la vivienda P2 pasó parte del confinamiento fuera del hogar, mientras que una hija pasó a vivir con la moradora de la vivienda P2. En el verano de 2020 es la vivienda P1 la que aumenta considerablemente sus consumos eléctricos con respecto al verano anterior mientras que en la vivienda P1 son menores y en la P2 son algo mayores.

		Consumo total ELECTRICIDAD (Wh)		
		P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> )	P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )	P1 (5 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )
Año Edificio SIN rehabilitar	Verano 2019	165.000	128.000	157.000
		207.000	127.000	195.000
		130.000	109.000	132.000
	Otoño 2019	144.000	155.000	103.000
		146.000	128.000	147.000
		117.000	77.000	152.000
Invierno 19-20	80.000	78.000	241.400	
	125.000	195.000	241.000	
	106.000	166.000	138.187	
PANDEMIA	132.000	207.000	82.665	
	71.000	251.000	131.282	
	110.000	178.000	196.666	
Años rehabilitación	Verano 2020	128.000	135.000	203.323
		187.000	130.000	385.671
		146.000	132.000	209.141
	Otoño 2020	131.000	181.000	110.813
		125.000	195.000	131.865
		139.000	174.000	110.075
Invierno 20-21	109.000	147.000	138.251	
	88.000	113.000	50.000	
	117.000	98.000	146.000	

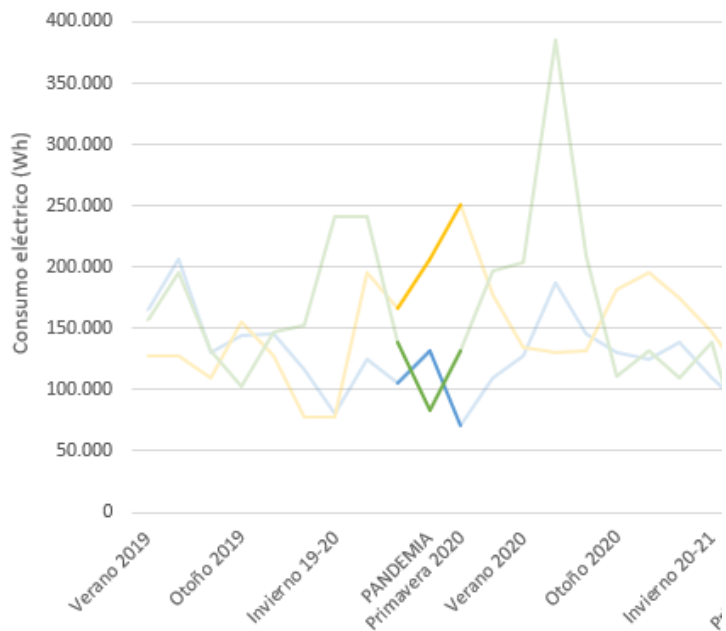


Tabla 58. Consumo de energía eléctrica en los hogares de muestra e inicio de pandemia

### Consumo de gas. Pandemia

Respecto a los consumos de gas, en primavera serán principalmente debidos al consumo de ACS. Estos consumos disminuyen notablemente en la primavera 2020, primavera del confinamiento, en la vivienda P3 y aumentan en la P2 y P3. En las primeras facturas del verano continua la misma tendencia en los consumos gasísticos mientras que en el otoño e invierno siguiente los datos muestran consumos parecidos al otoño e invierno anterior a la pandemia en los hogares P2 y P3 mientras que los consumos disminuyen en la vivienda P1. Estos últimos resultados parecen mostrar como la alteración en los hábitos y consumos debidos a la pandemia se van mitigando.

		Consumo total GAS (kWh)		
		P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> )	P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )	P1 (5 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )
Año Edificio SIN rehabilitar	Primavera 2019	693	104	299
	Verano 2019	138	23	126
		93	12	115
		475	220	439
	Invierno 19-20	1.474	1.149	2.299
		2.105	520	1.623
PANDEMIA		69	173	483
Años obras rehabilitación	Verano 2020	81	46	265
		46	35	149
		680	173	275
	Invierno 20-21	2.612	1.086	1.242
		1.268	207	803
		Primavera 2021	576	46
Verano 2021	81	23	288	

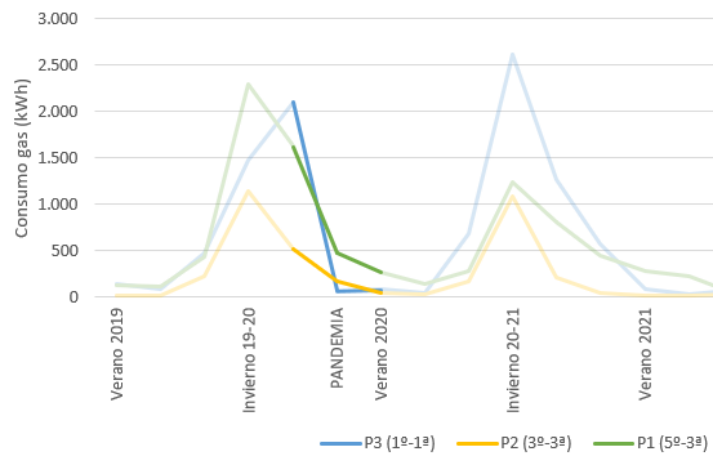


Tabla 59. Consumo de gas en los hogares de muestra e inicio de pandemia

### Consumo eléctrico. Guerra

Se aprecian subidas y bajadas moderadas en los consumos eléctricos en las viviendas, pero nada que demuestre una tendencia o una economía de ahorro. Una vivienda que un mes parece reducir su consumo respecto al mes de inicio de la guerra, el siguiente mes lo sube.

		Consumo total ELECTRICIDAD (Wh)		
		P3 (1ª-1ª)	P2 (3ª-3ª)	P1 (5ª-3ª)
Año obras rehabilitación	Invierno 20-21	109.000	147.000	138.251
		88.000	113.000	50.000
	117.000	98.000	146.000	
	Primavera 2021	131.000	119.000	137.838
		108.000	97.000	124.571
71.000		111.000	57.807	
Año edificio rehabilitado	Verano 2021	39.057	127.526	53.734
		137.416	155.637	237.503
	125.219	141.011	330.619	
	Otoño 2021	155.022	121.227	175.694
		116.363	144.734	115.832
		106.368	125.715	95.404
	Invierno 21-22	131.132	159.395	142.391
		90.208	137.467	128.395
		104.914	133.196	102.505
		GUERRA	90.250	143.596
123.505		140.478	124.536	
Primavera 2022	92.898	137.459	84.073	
	121.739	170.453	113.173	
	142.252	201.782	176.365	
	174.979		315.858	
Verano 2022			117.086	

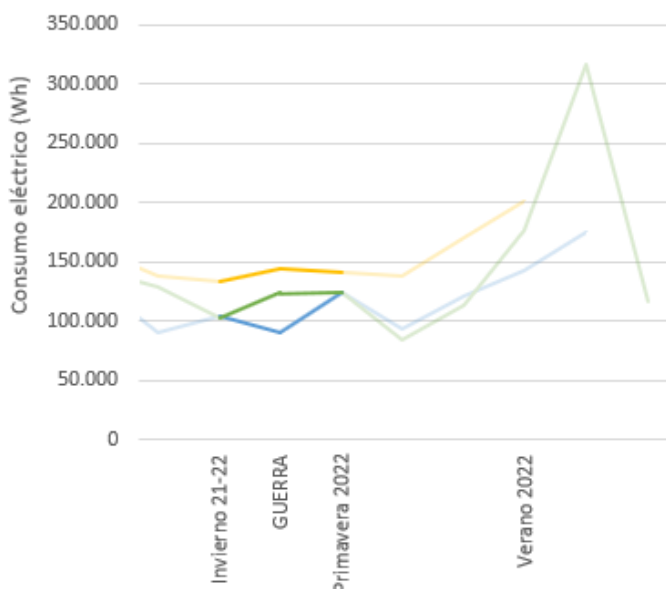


Tabla 60. Consumo de energía eléctrica en los hogares de muestra e inicio de guerra

### Consumo de gas. Guerra

No se precian disminuciones en los consumos de gas en las viviendas. Mientras que la vivienda P3 mantiene sus consumos de invierno primavera y verano del 2022 similares a los del mismo periodo del año anterior, la vivienda P2 los ha aumentado (a pesar de estar ya la rehabilitación completada) y la vivienda P1 los aumenta algo en el invierno y los disminuye parcialmente en la primavera.

		Consumo total GAS (kWh)		
		P3 (1ª-1ª)	P2 (3ª-3ª)	P1 (5ª-3ª)
Año obras rehabilitación	Invierno 20-21	2.612	1.086	1.242
		1.268	207	803
	Primavera 2021	576	46	447
Año edificio rehabilitado	Verano 2021	81	23	288
		35	12	230
	Otoño 2021	67	35	46
		395	266	345
Invierno 21-22	1.698	312	2.403	
	GUERRA	1.312	495	802
	Primavera 2022	482	115	434
	Verano 2022	46	11	206
				195

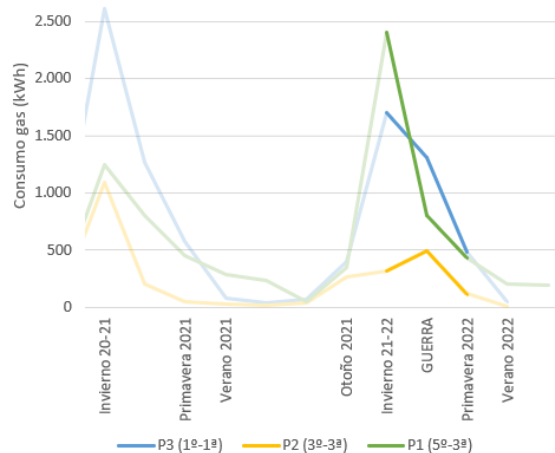


Tabla 61. Consumo de gas en los hogares de muestra e inicio de guerra

Pese a no apreciarse el efecto de la guerra en los consumos energéticos de los ocupantes de las viviendas, el precio de sus facturas si ha subido.

### Facturas. Precio Energía

Las facturas eléctricas de la Figura 23 corresponden a la vivienda P2. Las fechas de facturación son del 02/01/2021 al 31/01/2021 para la Factura A y del 30/05/2022 al 29/06/2022 para la B. Observando el precio total del término de energía variable se puede comprobar que ha subido de 0,135 €/kWh a 0,2016 €/kWh en el peaje más barato (0,314€/kWh en el más caro).

Facturación de electricidad						Facturación de electricidad										
<b>Término de energía variable</b>						<b>Término de energía variable</b>										
P1:	Precio Peaje	Precio Coste Energía	Precio Total	Consumo	Total	P1:	Precio Peaje	Precio Cargos	Precio Coste Energía	Precio Total	Consumo	Total				
	0,04402 €/kWh	0,09150 €/kWh	0,13552 €/kWh	113,00 kWh	15,32 €		0,027787 €/kWh	0,046622 €/kWh	0,240004 €/kWh	0,314413 €/kWh	46,31 kWh	14,75 €				
<b>Término de potencia</b>						<b>Término de potencia</b>										
P1:	Contratada	Máximo	Precio Peaje	Precio Potencia Fianza Energía	Precio Total	A Facturar	Total	P1:	Contratada	Máximo	Precio Peaje	Precio Potencia Fianza Energía	Precio Total	Potencia Contratada	Total	
	3,300 kW	kW	0,104129 €/kW día	0 €/kW día	0,342774 €/kW día	3,300 kW x 29 días	9,97 €		3,300 kW	kW	0,062982 €/kW día	0,008701 €/kW día	0 €/kW día	0,071683 €/kW día	3,300 kW x 30 días	7,50 €
<b>Energía reactiva</b>						<b>Energía reactiva</b>										
P1:	Consumo	Coste kWh	Precio	Exceso	Total	P1:	Consumo	Coste kWh	Precio	Exceso	Total					
	0,00 kWh	1,00	0,000000 €/kVA-h	0,00 kWh	0,00 €		0,00 kWh	1,00	0,000000 €/kVA-h	0,00 kWh	0,00 €					

Figura 23. Facturas A y B de electricidad de la vivienda P2

Las facturas de gas de la Figura 24 corresponden a la vivienda P1. Las fechas de facturación son del 20/07/2021 al 21/09/2021 para la Factura A y del 25/07/2022 al 21/09/2022 para la B. Observando el precio total del término de energía Gas se puede comprobar que ha subido de 0,06025 €/kWh a 0,0734 €/kWh lo cual, aunque no mucho, representa una subida en el precio de la factura del gas.

DETALLE DE LA FACTURA		DETALLE DE LA FACTURA	
<b>GAS NATURAL</b>			
Término Fijo Gas	63 días x 0,296942 Eur/día	Término Fijo Gas	59 días x 0,26354 Eur/día
Término Energía Gas	230 kWh x 0,06025 Eur/kWh	Término Energía Gas	195 kWh x 0,073406 Eur/kWh
% Dto. Promocional	32,57 Eur x -5 %	% Dto. Promocional	29,86 Eur x -5 %
Alquiler de Equipos Gas		Alquiler de Equipos Gas	
Impto.HC general (#)	230 kWh x 0,00234 Eur/kWh	Impto.HC general (#)	195 kWh x 0,00234 Eur/kWh
<b>Importe total</b>		<b>Importe total</b>	
IVA normal (21%)	21% s/ 32,70	IVA normal (21%)	21% s/ 29,98

Figura 24. Facturas A y B de gas de la vivienda P1

## ANEXO V TFM Eficiencia y ahorro energético alcanzado

En este apartado se cuantifica el nivel de eficiencia y ahorro alcanzado en el edificio de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de monitorizaciones y consumos reflejados en facturas. Las tablas aquí presentadas y los cálculos realizados se pueden consultar en el libro de Excel: *Consumos - Resultados y Comparaciones.xlsx*

### NIVEL DE EFICIENCIA Y AHORRO ENERGÉTICO ALCANZADOS CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS

El primer paso para deducir el nivel de eficiencia energética logrado tras la rehabilitación es inferir los datos de consumos recabados en la sección anterior (anexo IV *Análisis realizados y resultados obtenidos*) a la totalidad del edificio. Una vez extrapolados a todo el edificio dichos datos (obtenidos a través de facturas de los consumos energéticos en gas y electricidad en las viviendas de muestra antes y después de la rehabilitación) se comparan unos con otros indicando finalmente los porcentajes de eficiencia conseguidos.

Los pasos a dar en esta sección son:

- Extrapolar los consumos de gas y electricidad de las viviendas monitorizadas a todo el edificio.
- Indicar los consumos energéticos obtenidos en el edificio antes y después de su rehabilitación.
- Determinar el nivel de eficiencia y ahorro energético alcanzados.

Tras los análisis y evaluaciones realizadas en la sección anterior sobre las viviendas seleccionadas y las termografías obtenidas del edificio, se puede intuir que los rendimientos logrados no van a ser grandes.

### Extrapolación de consumos viviendas monitorizadas a todo el edificio

Antes que nada hay que indicar que la extrapolación de los valores de los pisos monitorizados a la totalidad del edificio de la Avda. Rodríguez Ayuso **es una aproximación** de datos que a su vez se han obtenido de facturas bimensuales (gas) y mensuales (electricidad).

### Criterios de clasificación de las viviendas del edificio y método de extrapolación

Para aplicar el consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> de los pisos seleccionados a todo el edificio se ha optado por el siguiente método de clasificación:

- Los factores a tener en consideración para la clasificación de las viviendas son la orientación y su situación dentro del edificio. No se utiliza el factor ocupación por ser las viviendas P2 y P3 una excepción dentro del edificio (personas mayores viviendo solas).
- Se clasifican las viviendas no monitorizadas en función de las monitorizadas según la siguiente tabla:

Tipo vivienda	Características y criterios
Tipo 1	Viviendas bajo cubierta que comparten orientación con P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> ) y P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> ). Se les asigna la media de los valores de las viviendas P1 (5 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> ), P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> ) y P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> ).
Tipo 2	Viviendas bajo cubierta que comparten orientación con P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> ). Se le asigna la media de los valores de las viviendas P1 (5 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> ) y P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> ).
Tipo 3	Todas las viviendas intermedias que comparten orientación y tamaño con la vivienda monitorizada P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> ). Se les asigna los mismos datos que a la vivienda P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> ).
Tipo 4	Viviendas que comparten orientación con P2 y P3 (Viviendas p-2 <sup>a</sup> ) Se les asigna la media de los valores de las viviendas P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> ) y P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> )
Tipo 5	Viviendas que comparten orientación con vivienda P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> ) (Viviendas p-1 <sup>a</sup> ). Se les asigna los mismos datos que a la vivienda P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> ).

Tabla 62. Características y criterios de clasificación de las viviendas del edificio

- Acorde a las características y criterios señalados en la Tabla 62 se obtiene la Tabla 63 que indica la clasificación de cada vivienda del edificio en función de las viviendas monitorizadas.

Edificio					
Viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5
P1 (5º-3ª)	5º-2ª	5º-1ª	4º-3ª	4º-2ª	4º-1ª
P2 (3º-3ª)			2º-3ª	3º-2ª	3º-1ª
P3 (1º-1ª)				2º-2ª	2º-1ª
				1º-2ª	

Tabla 63. Clasificación de cada vivienda en función de las viviendas monitorizadas

- Con la finalidad de afinar el sistema de extrapolación de datos de las tres viviendas a todo el edificio, siguiendo los criterios que sigue el CTE, se pone a prueba el método con las demandas de cada vivienda y del edificio que arroja la simulación HULC en su archivo NewBDL\_O.res. (Tablas 64).

Datos Demanda archivo NewBDL_O.res			Edificio Demanda de Calefacción (kWh/m2)						Edificio Demanda de Refrigeración (kWh/m2)					
Vivienda	DEMANDA de Calefacción (kWh/m2)	DEMANDA de Refrigeración (kWh/m2)	Viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5	Viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5
1º-2ª	70,43	22,16												
P3 (1º-1ª)	75,44	15,42												
2º-3ª	62,51	17,95												
2º-2ª	54,29	24,18												
2º-1ª	64,86	15,37												
P2 (3º-3ª)	60,01	17,72												
3º-2ª	48,47	24,11												
3º-1ª	63,03	15,83												
4º-3ª	60,48	17,85												
4º-2ª	48,89	24,31												
4º-1ª	63,49	16,55												
P1 (5º-3ª)	76,77	19,53												
5º-2ª	83,95	29,37												
5º-1ª	99,96	18,30												
EDIFICIO	66,73	19,88	EDIFICIO (kWh/m2):	69,74	Factor de Corrección cal (FC_Cal)			1,05	EDIFICIO (kWh/m2)	16,84	Factor de Corrección Ref (FC_Ref)			0,85
			EDIFICIO con FC_Cal (kWh/m2):						EDIFICIO con FC_Ref (kWh/m2)					

Tablas 64. Prueba de criterios con demandas energéticas indicadas en archivo NewBDL\_O.res

- De la prueba anterior se sacan dos factores de corrección (obtenidos de la comparación de resultados con las demandas indicadas en el archivo NewBDL\_O.res) que se añaden a los criterios indicados en la Tabla 62. Dichos criterios son:

Factor de Corrección cal (FC\_Cal) =1,05

Factor de Corrección Ref. (FC\_Ref) =0.85

### Consumos extrapolados en el edificio antes y después de su rehabilitación.

Siguiendo el método expuesto en el apartado anterior se plasman a continuación las tablas que muestran los diferentes consumos energéticos inferidos a todo el edificio. La comparación de estos datos serán los que señalen el grado de eficiencia alcanzado en el bloque tras su rehabilitación. También serán los que se utilicen en la comparación de resultados con la simulación del inmueble en HULC.

Todas las tablas se encuentran en el libro Excel: *Consumos - Resultados y Comparaciones.xlsx*



## Edificio sin rehabilitación. Consumos anuales

EDIFICIO SIN REHABILITAR											
CONSUMOS GAS (kWh/m <sup>2</sup> año)						CONSUMOS ELECTRICIDAD (kWh/m <sup>2</sup> año)					
Edificio Consumo Combustible fósil (gas) (kWh/m <sup>2</sup> año)						Edificio Consumo Electricidad (kWh/m <sup>2</sup> año)					
monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5	Viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5
111,92	85,24		45,45	71,90	98,34	42,07	38,33	38,15	38,70	36,47	34,23
45,45			45,45	71,90	98,34	38,70			38,70	36,47	34,23
98,34				71,90		34,23				36,47	34,23
h/m <sup>2</sup> :	76,75	Factor de Corrección cal (FC_Cal)			1,05	EDIFICIO (kWh/m <sup>2</sup> ):	37,00	Factor de Corrección Ref (FC_Ref)			0,85
EDIFICIO con FC_Cal (kWh/m <sup>2</sup> ):	73,44					EDIFICIO con FC_Ref (kWh/m <sup>2</sup> ):	43,69				
Edificio Consumo Calefacción (gas) (kWh/m <sup>2</sup> año)						Edificio Consumo Refrigeración (electricidad) (kWh/m <sup>2</sup> año)					
monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5	Viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5
79,05	68,79		39,71	63,65	87,60	8,40					2,16
39,71			39,71	63,65	87,60						
87,60				63,65		2,16				2,16	2,16
h/m <sup>2</sup> :	65,52	Factor de Corrección cal (FC_Cal)			1,05	EDIFICIO (kWh/m <sup>2</sup> ):	3,41	Factor de Corrección Ref (FC_Ref)			0,85
EDIFICIO con FC_Cal (kWh/m <sup>2</sup> ):	62,69					EDIFICIO con FC_Ref (kWh/m <sup>2</sup> ):	4,03				
Edificio Consumo ACS (gas) (kWh/m <sup>2</sup> año)											
monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5						
32,88	16,45		5,75	8,24	10,74						
5,75			5,75	8,24	10,74						
10,74				8,24							
h/m <sup>2</sup> :	11,23	Factor de Corrección cal (FC_Cal)			1,05						
EDIFICIO con FC_Cal (kWh/m <sup>2</sup> ):	10,74										

Tabla 65. Extrapolación de consumos anuales en viviendas a edificio sin rehabilitación

## Edificio sin rehabilitación. Emisiones de CO2 anuales

EDIFICIO SIN REHABILITAR. EMISIONES											
EMISIONES CO2 (gas) (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)						EMISIONES CO2 (Electricidad) (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)					
Emisiones CO2 Edificio por Combustible fósil (gas) (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)						Emisiones CO2 Edificio por Electricidad (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)					
Viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5	Viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5
28,20	21,48		11,45	18,12	24,78	10,60	9,66	9,61	9,75	9,19	8,63
11,45			11,45	18,12	24,78	9,75			9,75	9,19	8,63
24,78				18,12		8,63				9,19	8,63
EDIFICIO (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año):	19,34	Factor de Corrección cal (FC_Cal)			1,05	EDIFICIO (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año):	9,32	Factor de Corrección Ref (FC_Ref)			0,85
EDIFICIO con FC_Cal (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año):	18,51					EDIFICIO con FC_Ref (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año):	11,01				
Emisiones CO2 Edificio por Calefacción (gas) (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)						Emisiones CO2 Edificio por Refrigeración (electricidad) (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)					
Viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5	Viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5
19,92	17,52		10,57	16,32	22,08	2,78					0,77
10,57			10,57	16,32	22,08						
22,08				16,32		0,77				0,77	0,77
EDIFICIO (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año):	16,76	Factor de Corrección cal (FC_Cal)			1,05	EDIFICIO (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año):	1,17	Factor de Corrección Ref (FC_Ref)			0,85
EDIFICIO con FC_Cal (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año):	16,04					EDIFICIO con FC_Ref (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año):	1,38				
Emisiones CO2 Edificio por ACS (gas) (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)											
Viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5						
8,28	4,15		1,45	2,08	2,71						
1,45			1,45	2,08	2,71						
2,71				2,08							
EDIFICIO (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año):	2,83	Factor de Corrección cal (FC_Cal)			1,05						
EDIFICIO con FC_Cal (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año):	2,71										

Tabla 66. Extrapolación de emisiones de CO2 anuales en viviendas a edificio sin rehabilitación

## Edificio completamente rehabilitado. Consumos anuales

EDIFICIO COMPLETAMENTE REHABILITADO. CONSUMOS											
CONSUMOS GAS (kWh/m <sup>2</sup> año)						CONSUMOS ELECTRICIDAD (kWh/m <sup>2</sup> año)					
<b>Edificio Consumo Combustible fósil (gas) (kWh/m<sup>2</sup>año)</b>						<b>Edificio Consumo Electricidad (kWh/m<sup>2</sup>año)</b>					
viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5	Viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5
95,67	71,55		26,67	59,49	92,32	36,70	35,46	34,37	37,64	34,84	32,03
26,67			26,67	59,49	92,32	37,64			37,64	34,84	32,03
92,32				59,49		32,03				34,84	32,03
ICIO (kWh/m <sup>2</sup> ): 63,88      Factor de Corrección cal (FC_Cal) 1,05						EDIFICIO (kWh/m <sup>2</sup> ): 34,77      Factor de Corrección Ref (FC_Ref) 0,85					
EDIFICIO con FC_Cal (kWh/m <sup>2</sup> ): 61,12						EDIFICIO con FC_Ref (kWh/m <sup>2</sup> ): 41,07					
<b>Edificio Consumo Calefacción (gas) (kWh/m<sup>2</sup>año)</b>						<b>Edificio Consumo Refrigeración (electricidad) (kWh/m<sup>2</sup>año)</b>					
viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5	Viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5
70,13	60,54		25,25	55,74	86,23	5,82					2,80
25,25			25,25	55,74	86,23	2,80					2,80
86,23				55,74							2,80
ICIO (kWh/m <sup>2</sup> ): 57,48      Factor de Corrección cal (FC_Cal) 1,05						EDIFICIO (kWh/m <sup>2</sup> ): 3,40      Factor de Corrección Ref (FC_Ref) 0,85					
EDIFICIO con FC_Cal (kWh/m <sup>2</sup> ): 55,00						EDIFICIO con FC_Ref (kWh/m <sup>2</sup> ): 4,02					
<b>Edificio Consumo ACS (gas) (kWh/m<sup>2</sup>año)</b>											
viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5						
25,53	11,01		1,43	3,76	6,09						
1,43			1,43	3,76	6,09						
6,09				3,76							
ICIO (kWh/m <sup>2</sup> ): 6,40      Factor de Corrección cal (FC_Cal) 1,05											
EDIFICIO con FC_Cal (kWh/m <sup>2</sup> ): 6,12											

Tabla 67. Extrapolación de consumos anuales en viviendas a edificio tras rehabilitación

## Edificio completamente rehabilitado. Emisiones de CO2 anuales

EDIFICIO COMPLETAMENTE REHABILITADO. EMISIONES											
EMISIONES CO2 (gas) (kgCO2/m <sup>2</sup> año)						EMISIONES CO2 (Electricidad) (kgCO2/m <sup>2</sup> año)					
<b>Emisiones CO2 Edificio por Combustible fósil (gas) (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>año)</b>						<b>Emisiones CO2 Edificio por Electricidad (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>año)</b>					
viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5	Viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5
24,11	18,03		6,72	14,99	23,26	9,25	8,94	8,66	9,48	8,78	8,07
6,72			6,72	14,99	23,26	9,48			9,48	8,78	8,07
23,26				14,99		8,07				8,78	8,07
ICIO (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año): 16,10      Factor de Corrección cal (FC_Cal) 1,05						EDIFICIO (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año): 8,76      Factor de Corrección Ref (FC_Ref) 0,85					
EDIFICIO con FC_Cal (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año): 15,40						EDIFICIO con FC_Ref (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año): 10,35					
<b>Emisiones CO2 Edificio por Calefacción (gas) (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>año)</b>						<b>Emisiones CO2 Edificio por Refrigeración (electricidad) (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>año)</b>					
viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5	Viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5
17,67	15,26		6,36	14,05	21,73	1,93					0,99
6,36			6,36	14,05	21,73	0,99					0,99
21,73				14,05							0,99
ICIO (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año): 14,49      Factor de Corrección cal (FC_Cal) 1,05						EDIFICIO (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año): 1,18      Factor de Corrección Ref (FC_Ref) 0,85					
EDIFICIO con FC_Cal (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año): 13,86						EDIFICIO con FC_Ref (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año): 1,39					
<b>Emisiones CO2 Edificio por ACS (gas) (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>año)</b>											
viviendas monitorizadas	Vivienda Tipo1	Vivienda Tipo 2	Viviendas Tipo 3	Viviendas Tipo 4	Viviendas Tipo 5						
6,43	2,78		0,36	0,95	1,53						
0,36			0,36	0,95	1,53						
1,53				0,95							
ICIO (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año): 1,61      Factor de Corrección cal (FC_Cal) 1,05											
EDIFICIO con FC_Cal (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año): 1,54											

Tabla 68. Extrapolación de emisiones de CO2 anuales en viviendas a edificio tras rehabilitación

## Consumos de Calefacción y ACS por electricidad

Estos consumos energéticos, en el edificio, no se pueden obtener por medio la extrapolación, dado que ninguna de las viviendas monitorizadas disponen de sistemas de calefacción y ACS eléctricos. Se podría estimar su consumo en base a la ocupación de las dos viviendas (para la estimación del consumo en ACS) y la potencia térmica de los radiadores indicada para estas dos viviendas en la sección *Viviendas Monitorizadas* (Anexo II. *Viviendas Monitorizadas*).

## Consumos energéticos anuales obtenidos en el edificio antes y después de su rehabilitación

En los resultados mostrados en la Tabla 69 y Tabla 70 hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- En el consumo de calefacción del edificio solo está contemplado el consumo por gas, dado que este valor se saca del consumo extrapolado de calefacción de las tres viviendas monitorizadas, y ese consumo es de gas.
- Como se ha indicado anteriormente los consumos eléctricos de las dos viviendas con sistemas de calefacción y ACS eléctricos no se pueden medir ya que no ha sido monitorizada ninguna de estas viviendas. En todo caso se podría estimar.
- El valor total de energía indicado en las tablas (117,13 y 102.19 kWh/m<sup>2</sup>año ) es la suma del consumo de gas y electricidad marcado por las facturas de las tres viviendas de muestra extrapolado al edificio. No puede coincidir con la suma de consumos de calefacción, ACS y refrigeración porque en esos consumos no están añadidos los de iluminación y electrodomésticos (ni los de calefacción y ACS de las dos viviendas con sistemas de climatización eléctricos).

### Consumos antes de rehabilitación.

		Consumos sin REHABILITAR	Consumos Edificio (según FACTURAS)
<b>Edificio SIN rehabilitar (2019-2020)</b>	Energía Final C_ef (kWh/m <sup>2</sup> año)	Calefacción (gas) (kWh/m <sup>2</sup> año)	62,69
		Calefacción (elec) (kWh/m <sup>2</sup> año)	Desconocido
		ACS (gas) (kWh/m <sup>2</sup> año)	10,74
		ACS (elec) (kWh/m <sup>2</sup> año)	Desconocido
		Refrigeración (elec) (kWh/m <sup>2</sup> año)	4,03
		Por Combustible fósil (gas) (kWh/m <sup>2</sup> año)	73,44
		Por consumo eléctrico (kWh/m <sup>2</sup> año)	43,69
	<b>TOTAL Energía (kWh/m<sup>2</sup>año)</b>	<b>117,13</b>	
		Emisiones CO2 (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	
Emisiones CO2 (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	Por Calefacción (gas) (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	16,04	
	Por ACS (gas) (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	2,71	
	Por Refrigeración (elec) (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	1,33	
	Por Combustible fósil (gas) (kgCO2/m <sup>2</sup> año)		18,51
	Por consumo eléctrico (kgCO2/m <sup>2</sup> año)		14,46
	<b>TOTAL Emisiones CO2 (kgCO2/m<sup>2</sup>año)</b>		<b>32,97</b>

Tabla 69. Consumos energéticos y emisiones de CO2 del edificio SIN rehabilitar

### Consumos tras rehabilitación

		Consumos REHABILITADO	Consumos Edificio (según FACTURAS)
<b>Edificio Rehabilitado (2021-2022)</b>	Energía Final C_ef (kWh/m <sup>2</sup> año)	Calefacción (gas y elec) (kWh/m <sup>2</sup> año)	55,00
		ACS (gas y elec) (kWh/m <sup>2</sup> año)	6,12
		Refrigeración (elec) (kWh/m <sup>2</sup> año)	4,02
		Por Combustible fósil (gas) (kWh/m <sup>2</sup> año)	61,12
		Por consumo eléctrico (kWh/m <sup>2</sup> año)	41,07
			<b>TOTAL Energía (kWh/m<sup>2</sup>año)</b>
		Emisiones CO2 Edificio	
Emisiones CO2 (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	Por Calefacción (gas y elec) (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	13,86	
	Por ACS (gas y elec) (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	1,54	
	Por Refrigeración (elec) (kgCO2/m <sup>2</sup> año)	1,33	
	Por combustible fósil (gas) (kgCO2/m <sup>2</sup> año)		15,40
	Por consumo eléctrico (kgCO2/m <sup>2</sup> año)		13,59
	<b>TOTAL Emisiones CO2 (kgCO2/m<sup>2</sup>año)</b>		<b>29,00</b>

Tabla 70. Consumos energéticos y emisiones de CO2 del edificio rehabilitado

## Nivel de eficiencia y ahorro energético alcanzados

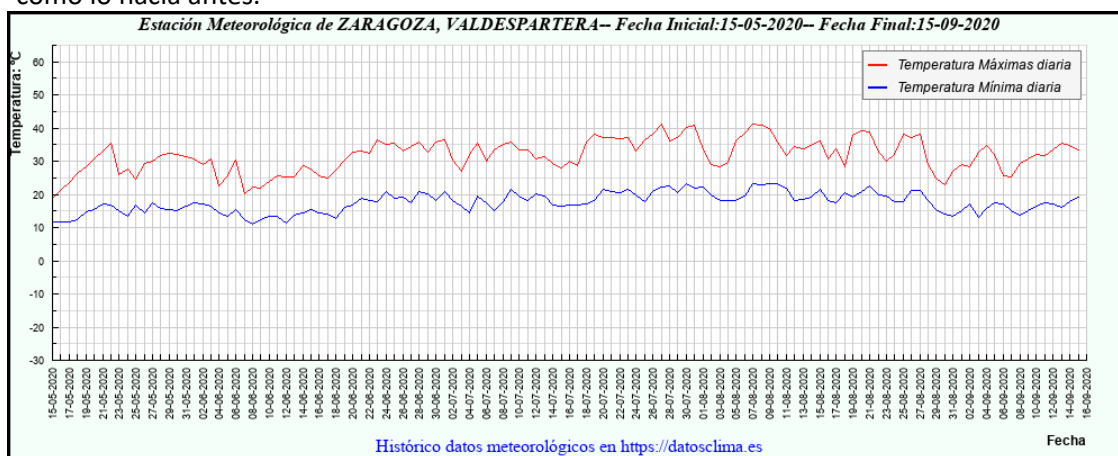
A continuación se reflejan los porcentajes conseguidos en el ahorro energético alcanzados tras la rehabilitación del edificio. En todas las comparaciones se toma como referencia el valor del edificio sin rehabilitar.

### Comparación consumos anuales desglosados por sistemas antes y después de rehabilitación energética

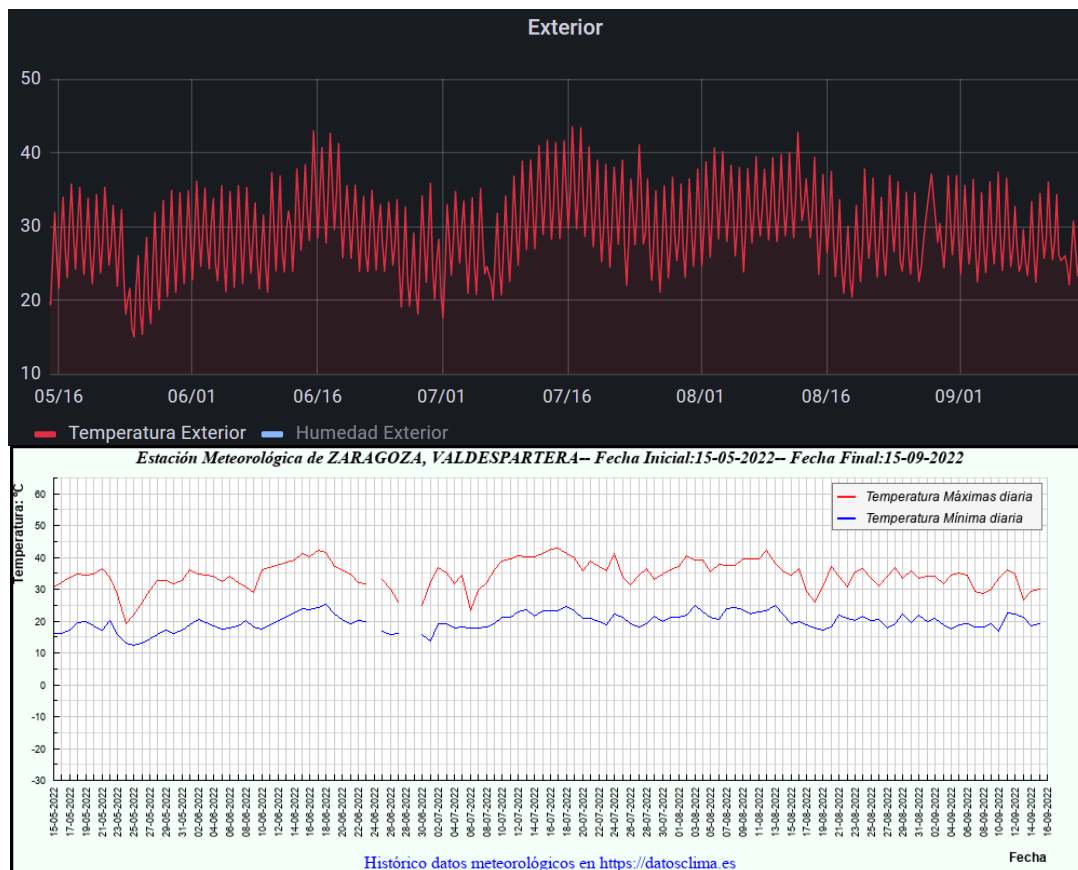
Consumos Edificio (según FACTURAS)	Antes Rehabilitación	Tras rehabilitación	Diferencia
Calefacción (gas) (kWh/m2año)	62,69	55,00	-12,27%
ACS (gas) (kWh/m2año)	10,74	6,12	-43,03%
Refrigeración (elec) (kWh/m2año)	4,03	4,02	-0,19%

Tabla 71. Ahorro logrado por sistemas

- Curiosamente el ahorro mayor se da en el consumo de ACS, un parámetro en el que no tiene influencia la calidad de la envolvente térmica. Esta disminución de ACS puede deberse a estancias menos prolongadas en los hogares una vez que se ha recuperado la posibilidad de salir y viajar tras la pandemia.
- En calefacción se lograría un modesto ahorro energético del 12.27% lo cual, en principio, no justificaría la inversión realizada. Pero hay que recordar que el periodo de estudio está marcado por una pandemia mundial y más adelante por una guerra y crisis energética con subidas del precio del gas y la electricidad (lo cual debería redundar en mayores ahorros). La influencia de ambas circunstancias hacen que los resultados del estudio puedan ser insuficientes para evaluar la eficacia y ahorro alcanzados en el edificio tras su rehabilitación energética. Sería conveniente alargar más el periodo de control de consumos en el edificio.  
Más adelante se evalúa el peso de la pandemia y la guerra en los consumos de energía de los pisos de muestra.
- En refrigeración prácticamente se da el mismo consumo pero viendo las temperaturas estivales del año 2020 y del año 2022 (Gráfica 26 y Gráfica 27) se ve que en este último año las temperaturas fueron más elevadas lo cual compensaría el mismo gasto energético en un verano con temperaturas modestas y sin aislante térmico con un verano tórrido con aislamiento. Sin embargo también es cierto que el consumo energético en refrigeración tiende a aumentar con el aislamiento ya que, al mejorar las propiedades térmicas del edificio la energía almacenada es más difícil que se pierda, lo que repercute en una mayor utilización de los equipos de refrigeración y por lo tanto un aumento en los consumos eléctricos para hacer frente a esta energía que no se disipa a través de los cerramientos como lo hacía antes.



Gráfica 26. Temperaturas exteriores entre el 15 de mayo de 2022 y el 15 de septiembre de 2020 (Fuente AEMET: <https://datosclima.es/Aemethistorico/Tempestad.php>)



Gráfica 27. Temperaturas exteriores entre el 15 de mayo de 2022 y el 15 de septiembre de 2022 (Fuente AEMET: <https://datosclima.es/Aemethistorico/Tempestad.php>)

### Comparación consumos anuales desglosados por tipo de energía antes y después de rehabilitación energética

Consumos Edificio (según FACTURAS)	Antes Rehabilitación	Tras rehabilitación	Diferencia
Combustible fósil (gas) (kWh/m2año)	73,44	61,12	-16,77%
Consumo eléctrico (kWh/m2año)	43,69	41,07	-6,01%
<b>TOTAL Energía (kWh/m2año)</b>	<b>117,13</b>	<b>102,19</b>	<b>-12,75%</b>

Tabla 72. Ahorro logrado por tipos de energía

Al considerar la disminución de consumos en función del tipo de energía, se ven ahorros modestos que no llegan ni al 20%, siendo mayor el ahorro en el consumo de gas que en el consumo eléctrico.

### Comparación valores de emisiones de CO2 anuales antes y después de Rehabilitación energética

Emisiones CO2 Edificio	Antes Rehabilitación	Tras rehabilitación	Diferencia
Total emisiones CO2 (kg/año)	32,97	29,00	-12,05%

Tabla 73. Disminución de emisiones de CO2 totales

Al ser modesto el descenso del consumo de energía total, también es modesto el ahorro de emisiones de CO2 tras la rehabilitación del bloque. (La diferencia entre el porcentaje reflejado por consumos (12,75%) y emisiones (12,05%) se debe a que el valor de los factores de paso en gas y electricidad son diferentes).

Los análisis y comparaciones realizados parecen indicar que las mejoras energéticas alcanzadas son muy pobres y que la eficiencia energética del edificio es muy baja respecto a su estado original. Estos resultados están en concordancia con las termografías mostradas en la sección *Análisis realizados y resultados obtenidos* (Anexo IV *Análisis realizados y resultados obtenidos*)

## Limitaciones en resultados alcanzados

Los análisis y resultados obtenidos en esta y en la anterior sección parece indicar que el descenso en la demanda energética del edificio, y como resultado final el menor consumo en gas y electricidad, **es modesto** y que los rendimientos alcanzados no llegan ni al 20 %.

La primera conclusión a la que se llega es que de acuerdo a tan modestos ahorros energéticos la inversión realizada no es viable.

No obstante hay que tener en cuenta factores que por un lado ratifican eficiencias tan pobres como factores que por otro lado ponen en duda la validez de resultados tan modestos.

### Factores que validan los resultados obtenidos

A favor de la poca eficiencia alcanzada vendrían de las pérdidas de calor en marcos de ventanas y puentes térmicos del edificio mostrados en las termografías de la sección Análisis realizados y resultados obtenidos (ANEXO IV *Análisis realizados y resultados obtenidos*); termografías que indican una no muy efectiva resolución en el aislamiento de la envolvente. Estas pérdidas influyen en los ahorros energéticos tan paupérrimos que algunos de los análisis mostrados en la citada sección han ido adelantando.

### Factores que cuestionan los resultados obtenidos

A lo largo del trabajo se han ido realizando una serie de suposiciones, estimaciones y aproximaciones que restan precisión al estudio y aumentan los márgenes de error.

Contar para la evaluación de consumos únicamente con facturas bimensuales (en el consumo gasístico) y mensuales (en el eléctrico), imponen **márgenes de error elevados**; como por ejemplo en la extrapolación de consumos energéticos a todo el edificio a partir de los datos de este tipo de facturas y de tres viviendas, cuyas peculiaridades ya se han comentado, y sin ninguna otra fuente de información de consumos lo cual obliga a realizar aproximaciones, validas pero aproximaciones.

No poder realizar comparativas entre viviendas rehabilitadas y no rehabilitadas de otro bloque del mismo proyecto original. La comparación con la vivienda del ya mencionado estudio previo tiene sus limitaciones para determinar el grado de mejoría energética en los análisis realizados y recogidos en la sección *Análisis realizados y resultados obtenidos* (Anexo IV *Análisis realizados y resultados obtenidos*).

Otro aspecto que pone en duda rendimientos tan bajos, que señala que la eficiencia alcanzada puede no ser representativa y que los resultados del estudio puedan ser insuficientes para evaluar el ahorro energético de la nueva envolvente, es el hecho de que si se cogen las facturas de gas desde donde se han podido obtener (verano de 2017 en pisos P2 y P3) se comprobará que los consumos de gas, en invierno, anteriores al año de la pandemia, muestran consumos muy superiores a los consumos del primer invierno con el edificio totalmente rehabilitado. Ver Tabla 74.

Este último enfoque refuerza la idea de que los años elegidos para comprobar la eficiencia energética del edificio, tras su rehabilitación, no sean los más adecuados, ya que demasiadas variables ajenas al análisis térmico y la capacidad aislante de la nueva envolvente influyen sobre los consumos reflejados en las facturas. Variables como:

- Una pandemia mundial con las alteraciones en ocupación y consumos de cada hogar.
- La viudedad de una de la moradora de uno de los pisos monitorizados en el primer año de estudio (invierno de 2019-20) con los cambios en hábitos energéticos y consumos asociados.
- La enfermedad y ausencias intermitentes de la ocupante de otra vivienda seleccionada.

- Los comportamientos energéticos tan inusuales de los ocupantes de la vivienda bajo cubierta (como picos de temperatura que superan los 27°C en la semana más fría del invierno o tener persianas levantadas y ventanas abiertas en plena ola de calor en verano).

En las variables nombradas no se incluye una guerra y crisis de precios de la energía (en el primer invierno con la nueva envolvente del edificio) porque, como se ha visto en el análisis realizado sobre su influencia en los consumos, estos no se han visto afectados en el periodo analizado.

Consumos GAS Facturados de Fecha inicio a Fecha fin		CONSUMO GAS						
		P1 (5 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )		P2 (3 <sup>o</sup> -3 <sup>a</sup> )		P3 (1 <sup>o</sup> -1 <sup>a</sup> )		
		m <sup>3</sup>	kWh	m <sup>3</sup>	kWh	m <sup>3</sup>	kWh	
27/07/2017	27/09/2017				12		104	Verano 2017
27/09/2017	21/11/2017				208		531	
21/11/2017	30/11/2017				1.312		92	Invierno 17-18
30/11/2017	24/01/2018						2.229	
24/01/2018	22/03/2018				1.114		1.892	
22/03/2018	29/05/2018				208		567	Verano 2018
29/05/2018	27/07/2018				0		115	
27/07/2018	24/09/2018				12		69	
24/09/2018	22/11/2018				290		718	Invierno 18-19
22/11/2018	31/12/2018				782		1.431	
31/12/2018	18/01/2019				361		660	
18/01/2019	20/03/2019				521		2.106	
20/03/2019	17/05/2019		299		104		693	

Tabla 74. Consumos de gas en años anteriores al año de comienzo del análisis.

La elección de pisos de muestra, aunque cumplen las exigencias impuestas por Zaragoza vivienda (un piso en planta baja, otro en entreplantas y un tercero bajo cubierta) no representan a la media de consumos del edificio, ni en ACS, ni probablemente en temperaturas de consigna o consumo en calefacción dadas las peculiaridades de los ocupantes de los pisos de muestra (persona mayor sola en dos de las viviendas de muestra y pareja con hábitos energéticos extremos). Profundizando un poco más en este último punto se ha de señalar que la monitorización de la vivienda P1 (5<sup>o</sup>-3<sup>a</sup>) no aporta a este trabajo datos muy significativos, solo confusión, ya que las peculiaridades de dicha vivienda confunden los resultados obtenidos. Dichas peculiaridades, ya mencionadas anteriormente, son:

- Vivienda ocupada por personas que necesitan en invierno subir la temperatura de la calefacción hasta los 25 y 26°C con el consiguiente gasto energético.
- Sistema de refrigeración móvil instalado en el dormitorio mientras que la sonda de monitorización está instalada en el salón-comedor.
- Numerosas plantas en el salón, causa por la que en verano las ventanas están siempre entreabiertas y las persianas nunca bajadas (Figura 25). La Gráfica 28 muestra variaciones de temperatura en el interior del salón de la vivienda P3 de más de 7°C, tales variaciones y hábitos implican una gran irregularidad térmica, además de un consumo energético elevado y no favorecen conclusiones sobre la eficiencia y el ahorro energético alcanzado en dicha vivienda, ni datos que sean extrapolables al resto del edificio.

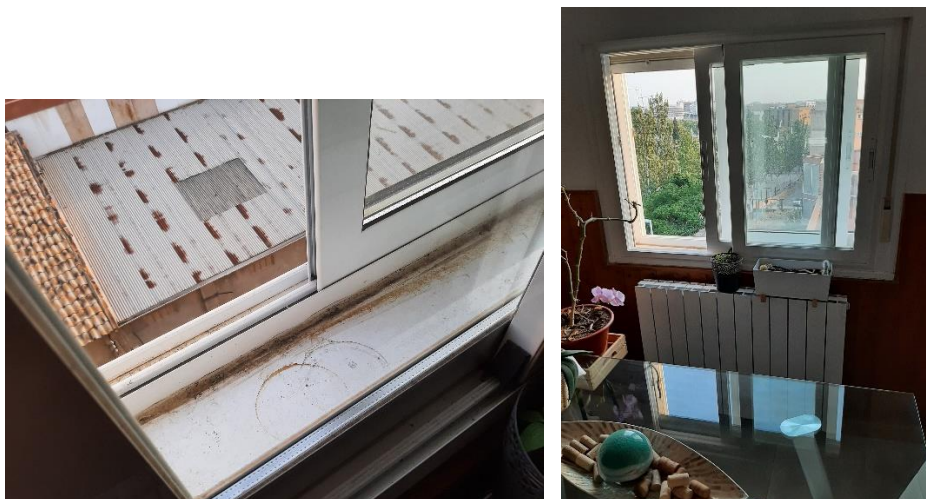
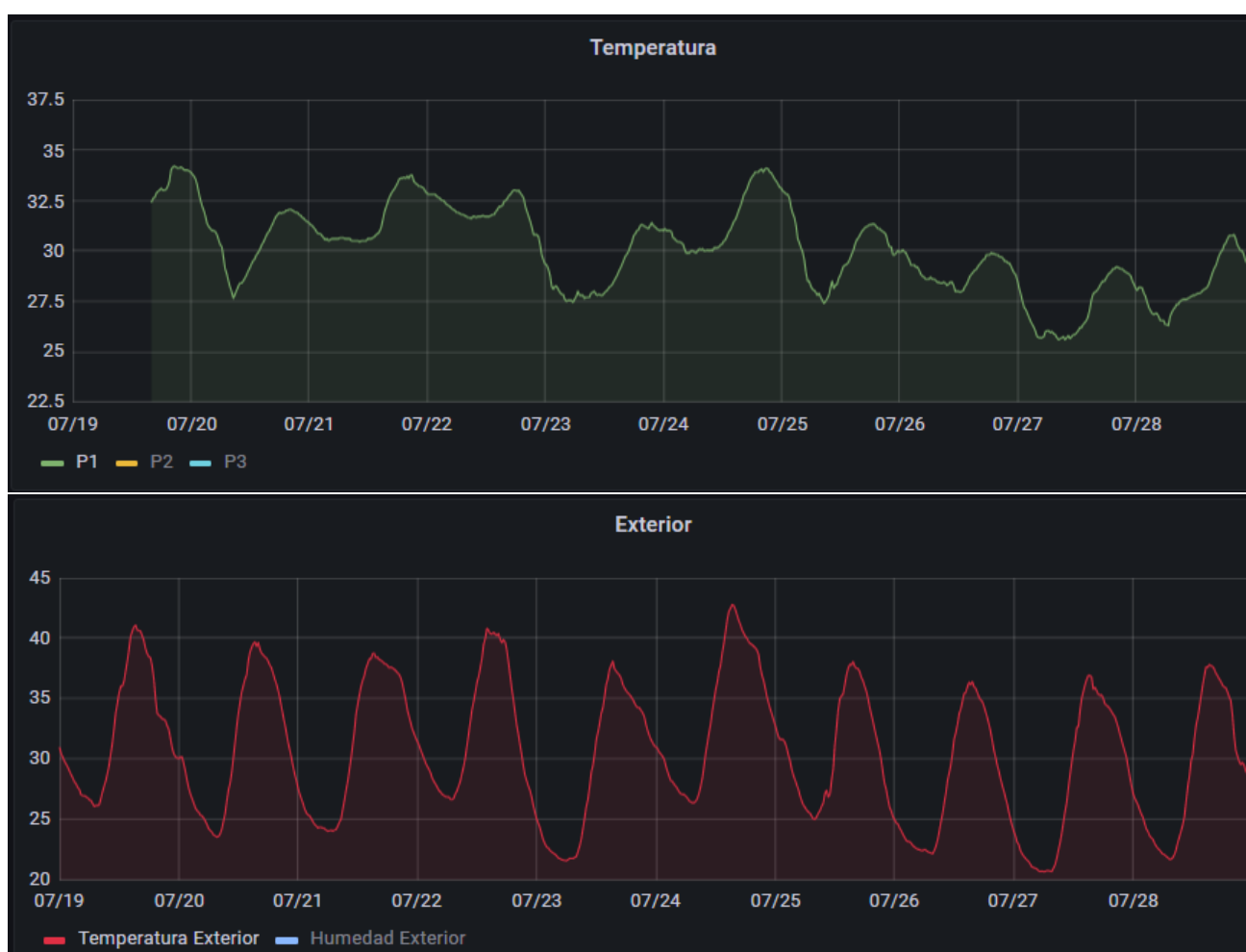


Figura 25. Ventanas abiertas al medio día en ola de calor



Gráfica 28. Temperaturas en P1 (5ª-3ª) en verano con temperaturas exteriores máximas de 40°C



## ANEXO VI Modelización en HULC del Edificio y Resultados Simulación

Esta sección se divide en dos

- Modelización en HULC del edificio objeto del estudio y resultados obtenidos. Trabajo recogido en este anexo (Anexo: ANEXO VI *Modelización en HULC y resultados simulación*).
- Comparación de los resultados obtenidos por medio de monitorizaciones y facturas con los resultados arrojados por el software de simulación energética HULC, recogido en el anexo siguiente (ANEXO VII *Comparación entre ahorros reales obtenidos y los calculados mediante el software HULC*).

### MODELIZACIÓN EN HULC DEL EDIFICIO Y RESULTADOS SIMULACIÓN

En esta sección se lleva a cabo la simulación energética del edificio, a través de la caracterización de la envolvente y el sistema de climatización del edificio de Avda. Rodríguez Ayuso en la herramienta HULC obteniendo las demandas energéticas, los consumos de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> en calefacción, ACS y refrigeración antes y después de la rehabilitación.

La simulación se realiza con la herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC) por ser el programa de referencia para el procedimiento general para la Certificación Energética de edificios en proyecto, terminados y existentes que marca el Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico [20].

Los detalles de cálculos y datos utilizados en la modelización están recogidos en la hoja de cálculo Excel:

***Cálculos modelización Edificio en HULC.xlsx***

El objetivo de la simulación es comparar los consumos energéticos simulados con los obtenidos por medio de las facturas de gas y electricidad.

### Presentación del edificio.

En la sección de la memoria *PRESENTACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO*, se describe el inmueble que se va a simular, como resumen de lo indicado en dicha sección se señalan los datos del bloque necesarios para su caracterización.

#### Datos del edificio

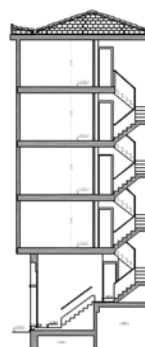
- Edificio residencial de vieja construcción.
- Carente de aislamiento térmico .
- Alta permeabilidad al aire.
- Orientación: fachada principal Suroeste.
- N.º total de viviendas: 14



Fig. 1. Fachada principal Edificio

#### Cotas y Altura de cada planta.

- Suelo local: -2,17 m respecto a calle principal (cota 0)
- Altura edificio: 17,20 m
- Altura pisos: 2,50m (de suelo a techo)
- Altura cubierta sobre solera bajo techo: 1,50 m



- Altura murete tejado: 0,45 m

Fig. 2 Sección edificio

## Caracterización del edificio

### Parámetros de entrada y suposiciones realizadas

Algunos parámetros no aparecen en el expediente del edificio o entran en conflicto con la realidad observada. Para la caracterización del inmueble se han consultado y priorizado, las siguientes fuentes:

- 1º. Utilización de datos constatados en el edificio mediante la observación, fotografías y medidas in situ.
- 2º. Datos y fotos sacados del catastro y de Google earth.
- 3º. Parámetros indicados en el expediente del edificio.
- 4º. CTE, leyes, reglamentación de la época y artículos y trabajos científicos.
- 5º. Indicaciones recogidas de los vecinos del inmueble.
- 6º. Suposiciones basadas en la lógica y simplicidad (ante dos suposiciones validas se escoge la menos compleja).

### Datos generales

Fig. 3 Datos generales.

### Caudal de ventilación y ventilación nocturna.

Como tasa de renovación del aire se ha elegido **0,63 ren/h**. (0,63 es el producto de la densidad estándar del aire (1,2 kg/m<sup>3</sup>) por el calor latente de vaporización del agua (0,52 Wh/g). Este valor son las renovaciones de aire a la hora que fija el CTE para edificios residenciales.

Como la herramienta HULC pide el caudal de ventilación en litros/segundo, se pasan las 0,63 ren/h a l/s. Para ello se multiplica el número de renovaciones hora por el volumen de aire interior del edificio(en m<sup>3</sup>) y por 1000 litros cada m<sup>3</sup>; el resultado se divide entre 3600 segundos a la hora.

ren/h	<b>0,63</b> ren/h
Volumen Aire edificio	1556,5 m <sup>3</sup>
	1000 l/m <sup>3</sup>
	3600 s/h
L/s	<b>272,39</b> l/s

Ventilación del edificio residencial

Caudal de ventilación del edificio o vivienda [litros/s]

Permeabilidad por defecto

Permeabilidad del edificio o vivienda actual , n50, [renh]

El edificio tiene una envolvente mejorada con baja permeabilidad al aire

Fig. 4 Renovaciones hora.

Las renovaciones de aire debidas a la ventilación nocturna (ventilación natural) se dejan en 4ren/h. Es el valor que fija el CTE (principalmente en las noches del verano).

Ventilación nocturna de edificios de vivienda en verano

Se produce la ventilación nocturna en régimen de verano (4 renovaciones por hora de 1 a 8 horas)

Fig. 5 Ventilación nocturna.

### Compacidad

La compacidad del edificio (Volumen/Área) influye en el valor del coeficiente global de transmisión de calor (K) a través de la envolvente térmica del edificio, de tal manera que a mayor compacidad mayor valor de K. EL bloque de estudio no es un edificio muy compacto lo cual hace que las pérdidas térmicas aumenten.

Compacidad [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>]

Fig. 6 Compacidad del edificio según HULC.

### Sombras

El conjunto de bloques de edificios está aislado respecto a otros, con lo que no recibe las sombras de otros bloques. La sombra de los árboles más próximos solo afecta a la vivienda del 1<sup>º</sup>-1<sup>ª</sup> y al ser árboles de hoja caduca solo le afectan en verano.



Fig. 7 Sombras

Las únicas sombras que afectan al edificio objeto del estudio, y que se han representado en HULC, son las sombras de los bloques 52 y 54 bis

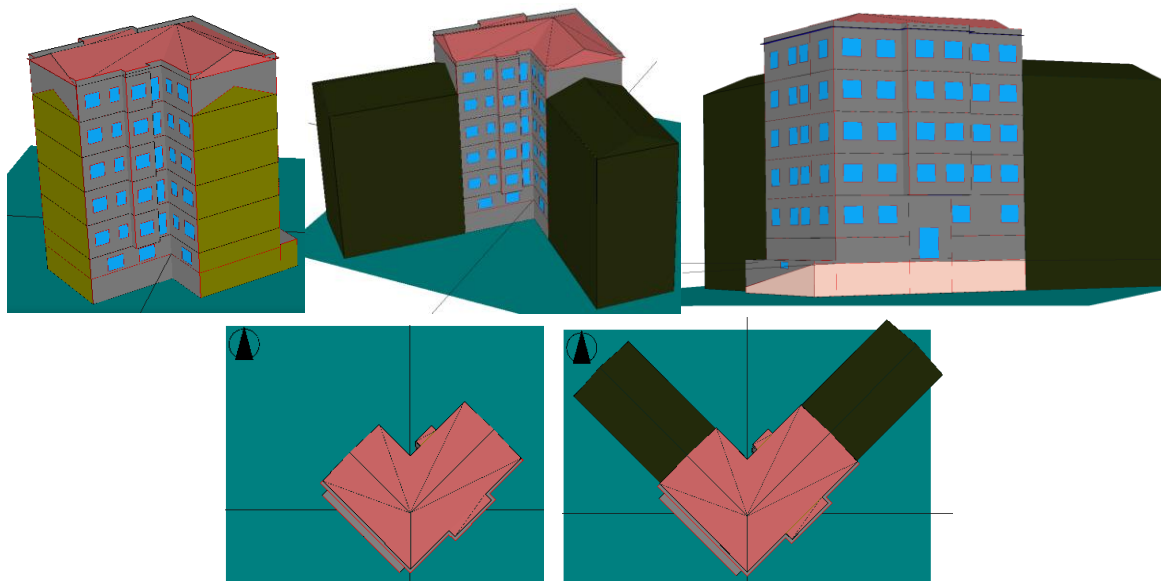


Fig. 8 Representación de sombras.

Fig. Edificio y sombras de los bloques 52 y 54 bis

### Nivel de estanqueidad de espacios no habitados

Todos los espacios no habitables han sido considerados espacios ligeramente ventilados. Los niveles de estanqueidad asignados en el programa para estos espacios (local, huecos de escalera y espacio bajo cubierta) son respectivamente:

<p>Nombre: P01_E01</p> <p>Tipo de Espacio: <input type="checkbox"/> No habitable</p> <p><input type="checkbox"/> Espacio interior a la envolvente térmica</p> <p>Tipo de uso: NIVEL_ESTANQUEIDAD_3</p> <p>Nº de pilares: 8</p> <p>Multiplicador: 1</p> <p>Altura: 3,590 m    Área: 160,222 m<sup>2</sup>    Volumen: 575,197 m<sup>3</sup></p>	<p>Nombre: P06_E03</p> <p>Tipo de Espacio: <input type="checkbox"/> No habitable</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Espacio interior a la envolvente térmica</p> <p>Tipo de uso: NIVEL_ESTANQUEIDAD_2</p> <p>Nº de pilares: 1</p> <p>Multiplicador: 1</p> <p>Altura: 2,800 m    Área: 12,313 m<sup>2</sup>    Volumen: 34,477 m<sup>3</sup></p>
<p>Nombre: P07_E02</p> <p>Tipo de Espacio: <input type="checkbox"/> No habitable</p> <p><input type="checkbox"/> Espacio interior a la envolvente térmica</p> <p>Tipo de uso: NIVEL_ESTANQUEIDAD_2</p> <p>Nº de pilares: 8</p> <p>Multiplicador: 1</p> <p>Altura: 0,520 m    Área: 146,515 m<sup>2</sup>    Volumen: 76,188 m<sup>3</sup></p>	

Fig. 9 Nivel de estanqueidad.

Fig. niveles de estanqueidad para local, huecos de escalera y espacio bajo la cubierta.

Estos niveles corresponden a lo indicado en la tabla 8 del Documento de Apoyo al Documento Básico HE-1 (DA-DB-HE-1)

## Color Fachadas

Se ha tenido en cuenta el color de la envolvente en fachadas y cubierta antes y después de las mejoras introducidas



Fig. 10 Color fachadas antes de rehabilitación.



Fig. 11 Color fachadas después de rehabilitación energética.

## Definición constructiva del edificio

La caracterización del edificio de estudio se encuentra en el archivo: *edif\_sin\_mejoras\_base.cthexml*

### Caracterización de la envolvente (cerramientos y huecos)

Los cerramientos (horizontales, verticales y cubiertas) definidos en HULC son los que se muestran en la figura

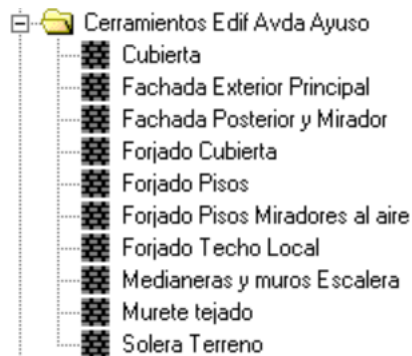


Fig. 12 Cerramientos edificio.

La composición de muros, soleras y cubierta se deduce a partir de la información que han proporcionado los expedientes del edificio, las fotografías, las observaciones y medidas realizadas en visitas al inmueble.

En este informe se presenta la información obtenida del expediente para la caracterización de la cubierta. Para ver la información del expediente relativa al resto de cerramientos consultar el punto *Información cerramientos expediente* del anexo adjunto.

### Cubierta

La observación demuestra que el tejado carece de alero y el biselado de la parte inferior de los techos es una capa de 2 cm de yeso

Cubierta de teja curva sentada con mortero de cemento, sobre forjado de piso de cerámica armada.

En la cubierta sobre este forjado de piso, se montaron unos tabicones de ladrillo doble hueco de 9 cm. (sin enlucir) dejando huecos para la libre circulación del aire, sobre los que se hizo un tablero de machihembrado ligeramente jarrado sobre el cual ira la teja de tipo plano mecánico sentada con mortero.

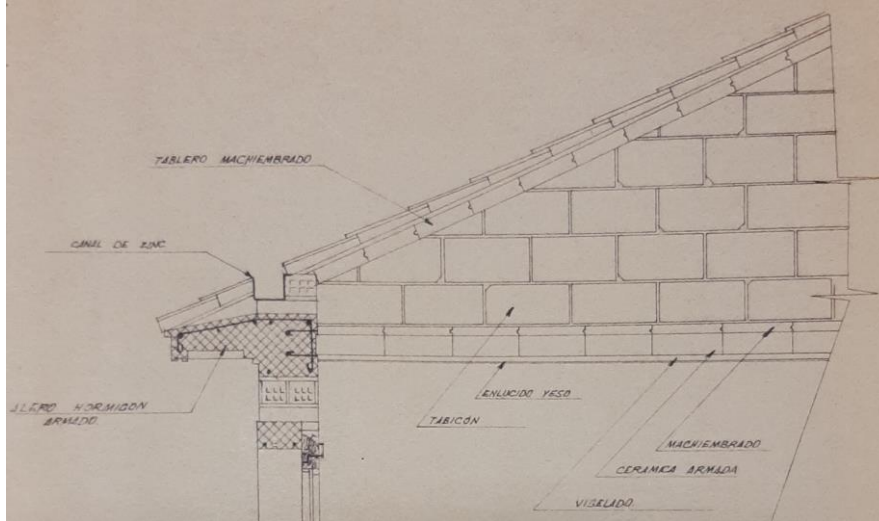


Fig. 13 Fig. Composición cubierta.

Con los datos recabados, la reglamentación y técnicas de construcción de la época, la composición de la parte opaca de la envolvente será:

Cubierta

Fachada Exterior Principal

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Teja de arcilla cocida	0.020	1.000	2000	800	
2	Mortero de cemento o cal para	0.030	0.550	1125	1000	
3	Tablero cerámico machihembrado	0.040	0.290	650	1000	
4	Cámara de aire ventilada. flujo					0.060

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para	0.015	0.550	1125	1000	
2	Tabicon de LH doble E=120mm	0.120	0.432	920	1000	
3	Tabicon de LH doble E=120mm	0.120	0.432	920	1000	
4	Mortero de cemento o cal para	0.015	0.550	1125	1000	
5	Enlucido de yeso d < 1000	0.010	0.400	900	1000	

U\_C 2,42 [W/m²K]

U\_M 1,24 [W/m²K]

Fachada Posterior y Mirador

Forjado Cubierta

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para	0.015	0.550	1125	1000	
2	Tabicon de LH doble E=120mm	0.090	0.432	920	1000	
3	Tabicon de LH doble E=120mm	0.090	0.432	920	1000	
4	Mortero de cemento o cal para	0.015	0.550	1125	1000	
5	Enlucido de yeso d < 1000	0.010	0.400	900	1000	

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	HormiÓN convencional d 2000	0.020	1.320	2000	1000	
2	Tablero cerámico machihembrado	0.040	0.290	650	1000	
3	FU entrevaído cerámico con canto	0.200	0.840	1338	800	
4	Enlucido de yeso d < 1000	0.020	0.400	900	1000	

U\_M 1,50 [W/m²K]

U\_S 1,54 [W/m²K]

Forjado Pisos

Forjado Pisos Miradores al aire

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Azulejo cerámico	0.020	1.300	2300	840	
2	HormiÓN convencional d 2000	0.020	1.320	2000	1000	
3	Tablero cerámico machihembrado	0.040	0.290	650	1000	
4	FU entrevaído cerámico con canto	0.200	0.840	1338	800	
5	Enlucido de yeso d < 1000	0.020	0.400	900	1000	

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Azulejo cerámico	0.020	1.300	2300	840	
2	HormiÓN convencional d 2000	0.020	1.320	2000	1000	
3	Tablero cerámico machihembrado	0.040	0.290	650	1000	
4	FU entrevaído cerámico con canto	0.200	0.840	1338	800	
5	Mortero de cemento o cal para	0.020	0.550	1125	1000	

U\_S 1,50 [W/m²K]

U\_S 1,53 [W/m²K]

Lo único que varía en la composición para los forjados de los pisos en contacto con el aire, respecto al forjado interior de los pisos, es el material de la capa más externa. El enlucido de yeso se ha cambiado por Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido.

## Forjado Techo Local

Nº	Material	Espesor	Conductivida	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Azulejo cerámico	0.020	1.300	2300	840	
2	Hormiión convencional d 2000	0.020	1.320	2000	1000	
3	Tablero cerámico machihembrado	0.040	0.290	650	1000	
4	FU entreviaado cerámico con canto	0.200	0.840	1338	800	

Nº	Material	Espesor	Conductivida	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Enlucido de yeso d < 1000	0.010	0.400	900	1000	
2	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0.010	0.550	1125	1000	
3	Tabicon de LH doble E=120mm	0.090	0.432	920	1000	
4	Tabicon de LH doble E=120mm	0.090	0.432	920	1000	
5	Mortero de cemento o cal para albañilería y	0.010	0.550	1125	1000	
6	Enlucido de yeso d < 1000	0.010	0.400	900	1000	

U\_S 1,62 [W/m²K]

U\_M 1,49 [W/m²K]

## Medianeras y muros Escalera

## Murete tejado

Nº	Material	Espesor	Conductivida	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Mortero de cemento o cal para	0.015	0.550	1125	1000	
2	Tabicon de LH doble E=120mm	0.090	0.432	920	1000	
3	Mortero de cemento o cal para	0.015	0.550	1125	1000	

Nº	Material	Espesor	Conductivida	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Hormiión convencional d 2000	0.150	1.320	2000	1000	

U\_M 2,31 [W/m²K]

U\_S 3,09 [W/m²K]

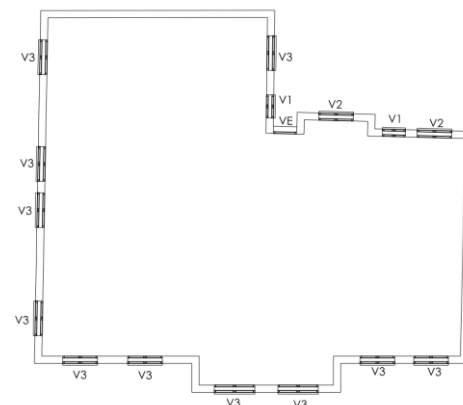
## Solera Terreno

## Huecos

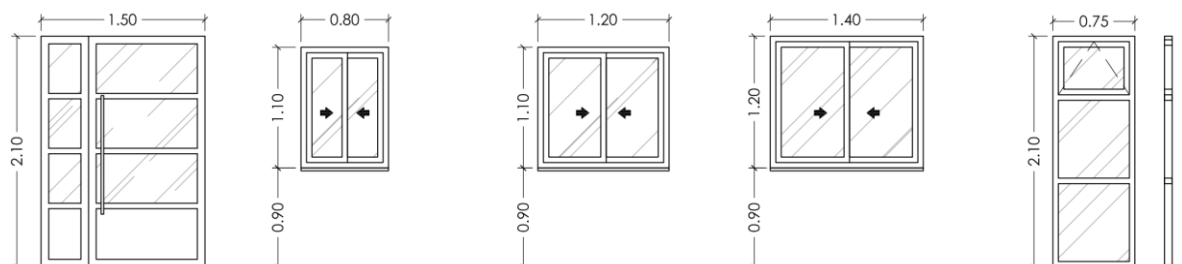
Las siguientes figuras muestran los huecos definidos en HULC, su distribución y, de acuerdo al proyecto de rehabilitación, la ubicación y tamaño de los mismos.

- Huecos Edif Avda Ayuso
  - Doble Ventana antes rehabilit
  - Doble Ventana tras Rehabilit
  - Puerta entrada edificio
  - Puerta entrada Edificio TRAS Rehabilitacion
  - Ventana Escaleras
  - Ventana Escaleras TRAS rehabilit
  - Ventana original
  - Ventanas Local
  - Ventanas simples

Fig. 14 Huecos definidos.



Distribución huecos.



DESIGNACION	PUERTA ENTRADA	V1	V2	V3	VE
UNIDADES	1ud	10ud	10ud	53ud	4ud
DIMENSIONES	150 x 210 cm	80 x 110 cm	120 x 110 cm	140 x 110 cm	75 x 210 cm

Fig. 15 Ubicación y tamaño huecos.

## Caracterización de huecos antes de rehabilitación

The figure shows six screenshots of a software interface for characterizing window openings before rehabilitation. Each screenshot represents a different window type with its specific properties and performance metrics.

Nombre	Grupo Vidrio	Vidrio	Grupo Marco	Marco	% hueco cubierto por el marco	¿Es una puerta?	Incremento de transmitancia por intercalarios y cajones de persiana integrados	Permeabilidad al aire	Transmitancia total de energía solar del acristalamiento con dispositivos de sombra móvil activados (g <sub>gl,sh,w</sub> )	U <sub>H</sub> [W/m <sup>2</sup> K]
Ventanas simples	Vidrios	Sencillo	Metálicos en posición vertical	VER_Normal sin rotura de puente térmico	20.00	<input type="checkbox"/>	0.00 %	50.00 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> a 100 Pa	0.11	5.15
Doble Ventana antes rehabili	Vidrios	Vidrio Doble Ventana antes rehab	Marcos	Marco Doble Ventana antes rehab	20.00	<input type="checkbox"/>	10.00 %	50.00 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> a 100 Pa	0.11	2.58
Ventana Escaleras	Vidrios	Sencillo	Metálicos en posición vertical	VER_Normal sin rotura de puente térmico	20.00	<input type="checkbox"/>	0.00 %	50.00 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> a 100 Pa	0.77	5.70
Ventana original	Vidrios	Sencillo	De Madera en posición vertical	VER_Madera de densidad media baja	10.00	<input type="checkbox"/>	35.00 %	60.00 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> a 100 Pa	0.11	7.20
Puerta entrada edificio	Monolíticos en posición vertical	VER_M_6	Metálicos en posición vertical	VER_Normal sin rotura de puente térmico	30.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.00 %	60.00 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> a 100 Pa	0.77	5.79
Ventanas Local	Vidrios	Sencillo	Metálicos en posición vertical	VER_Normal sin rotura de puente térmico	20.00	<input type="checkbox"/>	10.00 %	50.00 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> a 100 Pa	0.77	5.27

Fig. 16 Huecos antes de rehabilitación.

## Caracterización de huecos tras rehabilitación

The figure shows three screenshots of a software interface for characterizing window openings after rehabilitation. The properties and performance metrics are updated to reflect the improvements made during the rehabilitation process.

Nombre	Grupo Vidrio	Vidrio	Grupo Marco	Marco	% hueco cubierto por el marco	¿Es una puerta?	Incremento de transmitancia por intercalarios y cajones de persiana integrados	Permeabilidad al aire	Transmitancia total de energía solar del acristalamiento con dispositivos de sombra móvil activados (g <sub>gl,sh,w</sub> )	U <sub>H</sub> [W/m <sup>2</sup> K]
Doble Ventana tras Rehabilit	Vidrios	Vidrio Doble Ventana tras rehab	Marcos	Marco Doble Ventana tras rehab	20.00	<input type="checkbox"/>	5.00 %	9.00 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> a 100 Pa	0.08	1.98
Ventana Escaleras tras rehabilit	Dobles en posición vertical	VER_DC_4-4	Marcos	Marco Blanco Escaleras	20.00	<input type="checkbox"/>	5.00 %	9.00 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> a 100 Pa	0.71	3.44
Puerta entrada edificio tras rehabilitación	Dobles en posición vertical	VER_DC_4-4	Metálicos en posición vertical	VER_Con rotura de puente térmico mayor de 12	30.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.00 %	60 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> a 100 Pa	0.68	5.27

Fig. 17 Caracterización huecos tras rehabilitación.

En la caracterización de las nuevas ventanas (con mejores vidrios y marcos) se ha tenido en cuenta que:

- Al quedar la caja de persianas entre las dos ventanas que forman la doble ventana, se ha decidido reducir el porcentaje *incremento de transmitancia por intercalarios y cajones de persianas integrados* a la mitad (5%) del valor que tenía antes de la mejora.
- En las ventanas de las escaleras, al no tener persianas, el *incremento de transmitancia por intercalarios y cajones de persianas integrados*, tras rehabilitación se ha reducido a la mitad.



## Cálculo de dobles ventanas y caracterización de ventanas simples

Aunque la mayor parte de las ventanas de las viviendas son simples, se han calculado las ventanas dobles antes y después de rehabilitación. Los detalles del cálculo de las dobles ventanas se encuentran en la hoja *Dobles ventanas* del fichero Excel *Cálculos modelización Edificio en HULC.xlsx*

Se parte de huecos donde se han renovado, en todas las viviendas, salvo en una, todas las ventanas originales (de vidrio simple y marco de madera de baja densidad) por ventanas de vidrio sencillo (vidrio 1) con marco de aluminio sin rotura de puente térmico ( caracterizada como *Ventanas simples*). En las viviendas con dobles ventanas, los vidrios interiores (vidrio 1) y exteriores (vidrio 2) son sencillos y los marcos de aluminio (marco 1 y marco 2) no tienen rotura de puente térmico (*Doble Ventana antes rehabilitación*). La vivienda con las ventanas originales se ha caracterizado con una U elevada, 7,20 W/m<sup>2</sup>K (*Ventana original*).

En todos los huecos de las viviendas hay persianas de color pastel salvo en dos ventanas de la vivienda vacía del 1<sup>º</sup>-2<sup>ª</sup> que carecen de ellas. Esta persiana se encuentra entre hoja y hoja de las dobles ventanas y exterior a las ventanas simples y a las originales; todas se han considerado como protecciones exteriores. La transmitancia total de energía solar de cada hueco con dispositivo de sombra móvil (persiana exterior de color pastel)  $g_{gl;sh;wi}$  es 0,11 para vidrios sencillos y 0,08 para vidrios dobles.

### Dobles ventanas antes de rehabilitación

Elemento	Transmitancia U del vidrio (W/m <sup>2</sup> K)	Factor solar g del vidrio	Transmitancia U del marco (W/m <sup>2</sup> K)	Absortividad del marco	% cubierto por el marco
Vidrio 1: Vidrio sencillo	5,7	0,85			
Vidrio 2: Vidrio sencillo	5,7	0,85			
Marco 1: de aluminio con rotura de PT entre 4 y 12 mm			4	0,65	20
marco vidrio 2: de aluminio con rotura de PT entre 4 y 12 mm			4	0,65	20
Doble Ventana ANTES rehabilitación	2,58	0,765	1,87	0,65	20%

Tabla 75

### Dobles ventanas tras rehabilitación

Para la caracterización de las dobles ventanas, tras mejoras de huecos, se parte de los datos que proporciona el proyecto de rehabilitación; doble ventana donde se mantiene la hoja interior y se sustituye la exterior por una ventana corredera de vidrio con cámara 4/6/4 y marco de aluminio lacado en blanco según norma NTE FCL-05 con rotura de puente térmico mayor de 12mm.

Elemento	Transmitancia U del vidrio (W/m <sup>2</sup> K)	Factor solar g del vidrio	Transmitancia U del marco (W/m <sup>2</sup> K)	Absortividad del marco	% cubierto por el marco
Vidrio 1: Vidrio sencillo	5,7	0,85			
Vidrio 2: Vidrio con cámara 4/6/4	3,3	0,75			
Marco 1: Aluminio con RPT entre 4 y 12 mm (Color gris medio)			4	0,65	20
Marco 2: Aluminio lacado blanco con RPT > 12mm			3,2	0,2	20
Doble Ventana TRAS rehabilitación	1,94	0,692	1,67	0,2	20%

Tabla 76

### Cálculo Transmitancia y factor solar dobles ventanas

Transmitancias Vidrio y Marco doble ventana		
Rg (m <sup>2</sup> K/W)	0,18	
Rsi (m <sup>2</sup> K/W)	0,13	
Rse (m <sup>2</sup> K/W)	0,014	
	Antes rehabilitación	Tras rehabilitación
U <sub>V1+V2</sub> (m <sup>2</sup> K/W)	2,58	1,94
U <sub>M1+M2</sub> (m <sup>2</sup> K/W)	1,87	1,67

Tabla 77

$$U_{v1+v2} = \frac{1}{\frac{1}{U_{v1}} + \frac{1}{U_{v2}} + R_g - R_{si} - R_{se}}$$

Donde:  
 $U_{v1+v2}$  es el coeficiente U de la parte vidrio de la doble ventana  
 $U_{v1}$  y  $U_{v2}$  son los coeficientes U de cada vidrio  
 $R_g$  es la resistencia térmica de la cámara de aire entre las dos ventanas (habitualmente 0,18 m<sup>2</sup>·K/W)  
 $R_{si}$  y  $R_{se}$  son las resistencias térmicas interior y exterior (habitualmente 0,13 y 0,04 m<sup>2</sup>·K/W)

$$U_{m1+m2} = \frac{1}{\frac{1}{U_{m1}} + \frac{1}{U_{m2}} + R_g - R_{si} - R_{se}}$$

Donde:  
 $U_{m1+m2}$  es el coeficiente U de la parte marco de la doble ventana  
 $U_{m1}$  y  $U_{m2}$  son los coeficientes U de cada vidrio  
 $R_g$  es la resistencia térmica de la cámara de aire entre las dos ventanas (habitualmente 0,18 m<sup>2</sup>·K/W)  
 $R_{si}$  y  $R_{se}$  son las resistencias térmicas interior y exterior (habitualmente 0,13 y 0,04 m<sup>2</sup>·K/W)

Factor solar Vidrio doble ventana		
	Valores para vidrio simple	Vidrio doble 4/6/4
$\tau_{v1}$	0,9	0,82
$\rho_{v1}$	0,08	0,15
$\alpha_{v1}$	0,02	0,03
$G_1$ (W/m <sup>2</sup> K)	5	
$G_2$ (W/m <sup>2</sup> K)	10	
$G$ (W/m <sup>2</sup> K)	1,46	1,23
$g_{v1+v2}$	0,765	0,692

Tabla 78

$$g_{v1+v2} = g_{v1} \cdot g_{v2} + \alpha_{v1} \frac{G}{G_2} + \tau_{v1} (1 - g_{v2}) \frac{G}{G_1}$$

$$\alpha_{v1} = 1 - \tau_{v1} - \rho_{v1}$$

$$G_1 = 5W / m^2 \cdot K$$

$$G_2 = 10W / m^2 \cdot K$$

$$G = \left( \frac{1}{U_{v1+v2}} + \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} \right)^{-1}$$

Donde:  
 $\alpha_{v1}$  es la absorción luminosa del vidrio externo de la doble ventana. (para un doble acristalamiento es del orden de 0,03)  
 $\tau_{v1}$  es la transmisión luminosa del vidrio exterior de la doble ventana. (para un doble acristalamiento es del orden de 0,82)  
 $\rho_{v1}$  es el coeficiente de reflexión luminosa del vidrio exterior de la doble ventana (para un doble acristalamiento es del orden de 0,15)

### Creación de materiales

Para caracterizar los cerramientos y huecos del edificio, aparte de utilizar elementos de la base de datos de HULC, se han creado aquellos materiales que actualmente ya no existen o no se encuentran dentro de la base de datos de HULC. Estos materiales son:

## Fábricas de ladrillo y Cerámicos

Grupo	Fábricas de ladrillo	Grupo	Cerámicos
Nombre	Tabicon de LH doble E=120mm	Nombre	Tablero cerámico machihembrado
Propiedades		Propiedades	
Esesor (d)	0,120 m	Esesor (d)	0,040 m
Conductividad ( $\lambda$ )	0,432 W/m K	Conductividad ( $\lambda$ )	0,290 W/m K
Densidad ( $\rho$ )	920 kg/m <sup>3</sup>	Densidad ( $\rho$ )	650 kg/m <sup>3</sup>
Calor Específico (Cp)	1000 J/kg K	Calor Específico (Cp)	1000 J/kg K

Fig. 18 Creación de tabicón y tablero.

Para la creación del Tabicón de Ladrillo Hueco doble de espesor = 120mm se han considerado los siguientes datos:

Dimensiones: Tabicón de ladrillo Hueco doble de 12m de testa o tizón, 9cm de grueso y 25 de canto o sogá. (De acuerdo a las indicaciones del expediente del edificio)

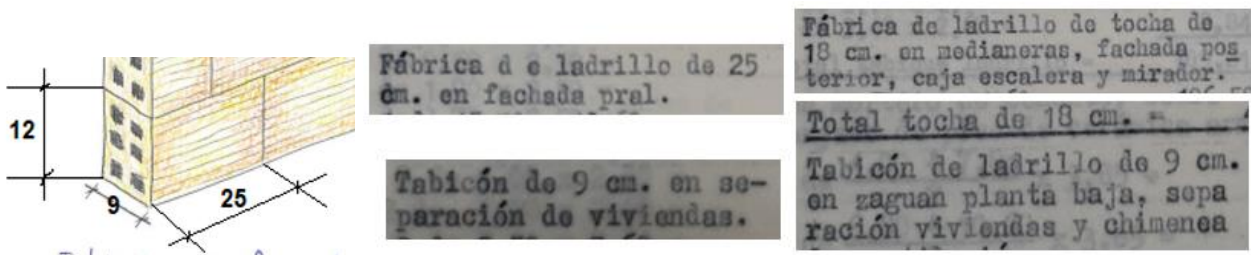


Fig. 19 Dimensiones fábrica de ladrillo.

Normativa/Reglamentación: Orden del 13 de mayo de 1942 (B.O. de 15 de Mayo de 1942)

reducido a 6,2 cm., fabricándose así hasta que se dictó la primera reglamentación oficial de los tamaños de ladrillos, aparecida en la Orden de 13 de mayo de 1942 (B. O. de 15 de mayo de 1942), en la que se estableció como tamaño normal para todo ladrillo macizo el de 25 × 12 × 5 cm.<sup>3</sup>, y para ladrillos huecos y perforados, también el tamaño de 25 × 12 cm.<sup>2</sup>, con gruesos de 3 cm., 4,5 cm., 7 cm. y 9 cm.

DENOMINACIONES	DIMENSIONES
Teja plana .....	13 piezas en metro cuadrado.
Idem curva .....	25 a 30 piezas en metro cuadrado.
Ladrillo hueco rasilla .....	250 × 120 × 30 milímetros.
Idem id. sencillo .....	250 × 120 × 45 milímetros.
Idem id. doble .....	250 × 120 × 90 milímetros.
Idem macizo normal .....	250 × 120 × 50 milímetros.
Idem id. perforado longitudinalmente...	250 × 120 × 70 milímetros.

Fig. 20 Normativa.

Especificaciones CTE. Valores de Conductividad ( $\lambda$ ), densidad ( $\rho$ ), calor específico (Cp) y factor de resistencia a la difusión ( $\mu$ ) sacados de los valores que se indican en HULC para materiales similares.

<p>Grupo Fábricas de ladrillo</p> <p>Nombre Tabicón de LH doble [60 mm &lt; E &lt; 90 mm]</p> <hr/> <p>Propiedades</p> <p>Esesor (d) 0,060 m</p> <p>Conductividad (<math>\lambda</math>) 0,432 W/m K</p> <p>Densidad (<math>\rho</math>) 930 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Calor Específico (Cp) 1000 J/kg K</p>	<p>Grupo Fábricas de ladrillo</p> <p>Nombre Tabicon de LH doble E=120mm</p> <hr/> <p>Propiedades</p> <p>Esesor (d) 0,120 m</p> <p>Conductividad (<math>\lambda</math>) 0,432 W/m K</p> <p>Densidad (<math>\rho</math>) 920 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Calor Específico (Cp) 1000 J/kg K</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fig. 21 Valores conductividad ( $\lambda$ ), densidad ( $\rho$ ) y calor específico (Cp) de Tabicón Doble.

## Aislantes y Bituminosos

<p>Grupo Aislantes</p> <p>Nombre Lana de roca ROCKWOOL</p> <hr/> <p>Propiedades</p> <p>Esesor (d) 0,080 m</p> <p>Conductividad (<math>\lambda</math>) 0,035 W/m K</p> <p>Densidad (<math>\rho</math>) 120 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Calor Específico (Cp) 1000 J/kg K</p>	<p>Grupo Aislantes</p> <p>Nombre Poliestireno XPS acanal Styrodur</p> <hr/> <p>Propiedades</p> <p>Esesor (d) 0,080 m</p> <p>Conductividad (<math>\lambda</math>) 0,034 W/m K</p> <p>Densidad (<math>\rho</math>) 38 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Calor Específico (Cp) 1000 J/kg K</p>
<p>Grupo Bituminosos</p> <p>Nombre Onduline BT-50</p> <hr/> <p>Propiedades</p> <p>Esesor (d) 0,002 m</p> <p>Conductividad (<math>\lambda</math>) 0,040 W/m K</p> <p>Densidad (<math>\rho</math>) 1000 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Calor Específico (Cp) 1883 J/kg K</p>	

Fig. 22

## Vidrios

<p>Grupo Vidrios</p> <p>Nombre Vidrio Doble Ventana antes rehab</p> <hr/> <p>Propiedades</p> <p>Transmitancia térmica (U) 2,58 W/m<sup>2</sup>K</p> <p>Factor Solar (g<sub>gl,n</sub>) 0,765 Adimensional</p>	<p>Grupo Vidrios</p> <p>Nombre Vidrio Doble Ventana tras rehab</p> <hr/> <p>Propiedades</p> <p>Transmitancia térmica (U) 1,94 W/m<sup>2</sup>K</p> <p>Factor Solar (g<sub>gl,n</sub>) 0,692 Adimensional</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fig. 23

## Marcos

<p>Grupo Marcos</p> <p>Nombre Marco Doble Ventana antes rehab</p> <hr/> <p>Propiedades</p> <p>Transmitancia térmica (U) 1,87 W/m<sup>2</sup>K</p> <p>Absortividad (<math>\alpha</math>) 0,65 Adimensional</p>	<p>Grupo Marcos</p> <p>Nombre Marco Doble Ventana tras rehab</p> <hr/> <p>Propiedades</p> <p>Transmitancia térmica (U) 1,67 W/m<sup>2</sup>K</p> <p>Absortividad (<math>\alpha</math>) 0,20 Adimensional</p>	<p>Grupo Marcos</p> <p>Nombre Marco Blanco Escaleras</p> <hr/> <p>Propiedades</p> <p>Transmitancia térmica (U) 3,20 W/m<sup>2</sup>K</p> <p>Absortividad (<math>\alpha</math>) 0,20 Adimensional</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fig. 24

### Cubierta. altura equivalente.

La altura equivalente de cubierta es 0,80 cm y se saca dividiendo el volumen encerrado bajo la cubierta entre la superficie del área de la base del triángulo formado por el tejado y la última solera.

Los cálculos realizados para averiguar el volumen encerrado en la cubierta se pueden consultar en el libro de Excel *Cálculos modelización Edificio en HULC.xlsx* hoja *Volumen tejado*.

### Modelado del edificio

Una vez definidos y caracterizados los materiales cerramientos y huecos del edificio se procede a modelar el bloque. Con las cotas, dimensiones, fotos y planos e informe del expediente se hace una representación gráfica del edificio.

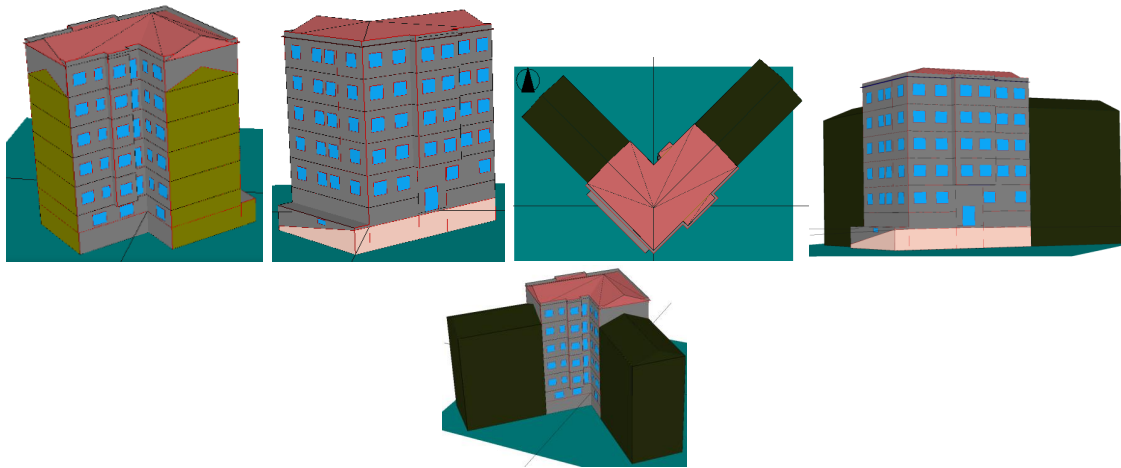


Fig. 25 Modelado del edificio en HULC

## Definición de sistemas térmicos. Climatización y ACS

### Equipo exclusivo de ventilación.

Dado que para poder expedir los certificados del documento base del CTE HE-0 es necesario indicar que el edificio es nuevo y que para edificios nuevos es obligatorio un sistema de ventilación mecánica, se cambia en observaciones la definición del caso a Edificio Nuevo y se crea un Equipo exclusivo de ventilación donde la potencia eléctrica consumida por el equipo sea nulo.

Núm	Caudal (m3/h)	Potencia (W)
1	250	0
2	500	0
3	750	0
4	1000	0
5	0	0
6	0	0

Fig. 26 Caracterización Equipo exclusivo de ventilación.

## Definición de sistemas de calefacción y Agua Caliente Sanitaria (ACS)

Los sistemas de climatización , refrigeración y ACS que disponen las viviendas del bloque de estudio (ya mencionados en el anexo II) son los siguientes:

- 12 sistemas de calefacción y ACS por caldera mixta (calefacción y ACS) individual de gas.
  - 1 Caldera mural estanca Sarigas, modelo Zoom ZF 420 A. Potencia: 26 kW, Rendimiento: 0,90%
  - 1 Caldera mural estanca Sanier Duval, ThemaClassic\_F25-E. Potencia: 24 kW, Rendimiento: 0,93%
  - 1 Caldera mural de condensación Baxi, modelo Neodens Plus -28/28 F ECO. Potencia: 24 kW, Rendimiento: 1,06%
  - 8 Calderas murales. Se suponen estancas de 24 W con un rendimiento nominal del 93%. (Supuestas)
  - 1 Caldera mural convencional de bajo rendimiento 20W -80% en vivienda desocupada. (Supuesta)
- 2 sistemas de calefacción y ACS eléctricos.
  - Para la simulación en HULC de este par de viviendas se ha supuesto calderas de calefacción y ACS convencionales de 10 kW con un rendimiento de 0,9 y tipo de energía eléctrica. La potencia del radiador equivalente será 5,5 kW. (Se han supuesto radiadores eléctricos individuales de 1000W de potencia por habitación y pasillo, salvo el radiador del baño que al ser la dependencia más pequeña se le supone una potencia eléctrica de 500W. Como las dos viviendas tienen 2 dormitorios, un salón-comedor, una cocina, un pasillo y un cuarto de baño; la potencia total por vivienda será de 5500 W eléctricos).
- Potencia del conjunto de radiadores de cada vivienda:
  - Las dos vivienda con radiadores eléctricos (2º-1ª y 5º-1ª) tienen igual potencia (5,5 kW)

Piso	Potencia Unidades Terminales (kW)
Piso 1º - 1ª	6
Piso 1º - 2ª	9 (0kW vivienda vacía)
Pisos p - 1ª	5,5
Pisos p - 2ª	6
Pisos p - 3ª	6,5

Tabla 79 Potencias radiadores (eléctrica y gas) de cada vivienda

- Consumos de ACS en viviendas:

Vivienda	1º-1ª	1º-2ª	2º-1ª	2º-2ª	2º-3ª	3º-1ª	3º-2ª	3º-3ª	4º-1ª	4º-2ª	4º-3ª	5º-1ª	5º-2ª	5º-3ª
Personas	1	0	3	3	4	3	3	1	3	3	4	1	2	2
Consumo ACS (l/día·persona)	28	0	84	84	112	84	84	28	84	84	112	28	56	56

Tabla 80 Demanda ACS por piso (l/día·persona)

- Temperatura de utilización ACS = 60°C

- Cinco de las catorce viviendas disponen de sistemas de refrigeración (cuatro uni-zona y uno móvil) cuyos datos son:

Piso	Capacidad total de refrigeración nominal (kW)	Capacidad sensible de refrigeración Nominal (kW)	Consumo de refrigeración nominal (kW)	Caudal de impulsión nominal (m³/h)	EER
1ª-1ª	3,5	2,63	1,08	450	3,24
2ª-1ª	2,5	1,88	0,96	450	2,60
2ª-2ª	2,5	1,88	0,96	450	2,60
4ª-1ª	2,5	1,88	0,96	450	2,60
5ª-3ª	3	2,25	1,20	600	2,50

Tabla 81. Características sistemas de refrigeración

Para los equipos de refrigeración cuyas características se desconocen se ha supuesto una potencia de 2,5 kW y un EER de 2,60. (Estos valores serán los que cojamos como rendimiento medio estacional del equipo de refrigeración de cada vivienda).

Los EER contemplados son valor estándar, marcado por el CTE (2,6) y corresponden a los EER de los equipos de sustitución ficticios que crea el programa para realizar los cálculos de refrigeración cuando se detectan demandas de refrigeración.

Las especificaciones técnicas de las calderas son las señaladas en el *Anexo II Viviendas Monitorizadas*.

Para más información y cálculos realizados consultar las hojas *Potencia térmica radiad y AA y Consumo de ACS* del fichero Excel *Cálculos modelización Edificio en HULC.xlsx*.

### Caracterización sistemas de calefacción y ACS (gas)

Se han caracterizado los sistemas de climatización de acuerdo a la información recabada de cada vivienda que se recoge en el *Anexo II Viviendas Monitorizadas*.

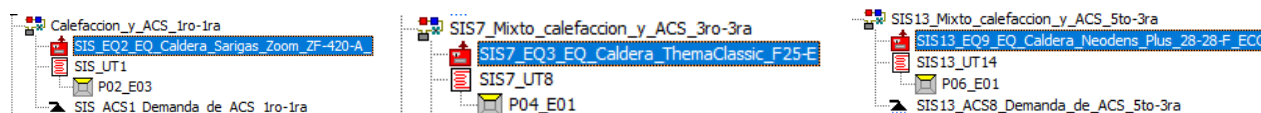


Fig. 27. Caracterización calefacción y ACS (gas) viviendas monitorizadas 1ª-1ª, 3ª-3ª y 5ª-3ª

Fig. 28 Detalle caracterización calefacción y ACS vivienda 5ª-3ª (gas)

De las 9 viviendas cuyas calderas murales estancas de gas se desconocen características, se ha supuesto una potencia nominal a 80°C de 24 kW y un rendimiento sobre PCI a 80°C del 93%.

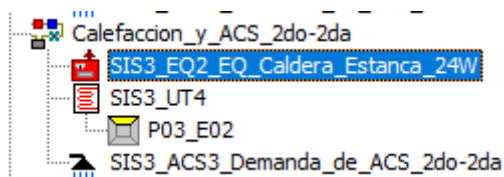


Fig. 29 Detalle caracterización calefacción y ACS (gas) resto de viviendas

### Caracterización vivienda vacía (1º-2ª)

A falta de más información se ha caracterizado el sistema de climatización de esta vivienda con una caldera mixta convencional de bajo rendimiento y, dado que está desocupada, con 0kW de potencia de los radiadores y 0l/día de consumo de ACS.

**Radiador**

Nombre: SIS1\_UT2

Propiedades básicas

Capacidad nominal: 0,00 kW

Espacio: P02\_E01

**Caldera**

Nombre: SIS1\_EQ1\_EQ\_Caldera\_Convencional\_20W

Propiedades básicas | Curvas

Capacidad Total: 20,00 kW

Rendimiento nominal (basado en PCI): 0,800

Tipo energía: Gas Natural

**demanda de ACS**

Nombre: SIS1\_ACS1\_Demanda\_de\_ACS\_1ro-2da

Propiedades básicas

Consumo total diario: 0,00 l/día

Temperatura de utilización: 60,0 °C

Temperatura del agua de red: 13,23 °C

Fig. 30 Caracterización sistema climático y ACS vivienda vacía (1º-2ª)

### Caracterización sistemas de calefacción y ACS (electricidad)

Para la caracterización de los sistemas climáticos de calefacción y ACS de las dos viviendas que carecen de calderas de gas se han supuesto sendas calderas de calefacción y ACS, convencionales, de 10 kW con un rendimiento de 0,9 y tipo de energía eléctrica. La potencia del radiador equivalente será de 5,5 kW tal y como se señala en el anexo II *Viviendas monitorizadas*.



**Calefacción\_y\_ACS\_2do-1ra**

- SIS2\_EQ1\_EQ\_Caldera-ACS-Convenccional-Defecto
- SIS2\_UT3
- P03\_E04
- SIS2\_ACS2\_Demanda\_de\_ACS\_2do-1ra

**Radiador**

Nombre: SIS2\_UT3

Propiedades básicas

Capacidad nominal: 5,50 kW

Espacio: P03\_E04

**Caldera**

Nombre: SIS2\_EQ1\_EQ\_Caldera-ACS-Convenccional-Defecto

Propiedades básicas | Curvas

Capacidad Total: 10,00 kW

Rendimiento nominal (basado en PCI): 0,900

Tipo energía: Electricidad

**demanda de ACS**

Nombre: SIS2\_ACS2\_Demanda\_de\_ACS\_2do-1ra

Propiedades básicas

Consumo total diario: 84,00 l/día

Temperatura de utilización: 60,0 °C

Temperatura del agua de red: 13,23 °C

Fig. 31 Caracterización calefacción y ACS vivienda 2ª-1ª (electricidad)

### Caracterización sistemas de refrigeración

Tal como ya se ha indicado, un tercio de las viviendas disponen de sistemas de refrigeración eléctricos, su caracterización se ha elaborado siguiendo las indicaciones de la Tabla 81.

**SIS14\_Climatización\_unizona\_1ro-1ra**

- SIS14\_EQ1\_EQ\_ED\_Split\_LG\_S12ET\_UA3
- P02\_E03

**SIS15\_Climatización\_unizona\_2do-1ra**

- SIS15\_EQ2\_EQ\_ED\_AireAire\_SF-Defecto
- P03\_E04

**SIS16\_Climatización\_unizona\_2do-2da**

- SIS16\_EQ3\_EQ\_ED\_AireAire\_SF-Defecto
- P03\_E02

**SIS17\_Climatización\_unizona\_4to-1ra**

- SIS17\_EQ4\_EQ\_ED\_AireAire\_SF-Defecto
- P05\_E04

**SIS18\_Climatización\_unizona\_5to-3ra**

- SIS18\_EQ5\_EQ\_ED\_AireAire\_SF-Defecto
- P06\_E01

**Autónomo sólo frío**

Nombre: SIS14\_EQ1\_EQ\_ED\_Split\_LG\_S12ET\_UA3

Propiedades Básicas | Curvas

Capacidad total de refrigeración nominal: 3,50 kW

Capacidad sensible de refrigeración nominal: 2,63 kW

Consumo de refrigeración nominal: 1,08 kW

Caudal de impulsión nominal: 450 m³/h

**Autónomo sólo frío**

Nombre: SIS15\_EQ2\_EQ\_ED\_AireAire\_SF-Defecto

Propiedades Básicas | Curvas

Capacidad total de refrigeración nominal: 2,50 kW

Capacidad sensible de refrigeración nominal: 1,88 kW

Consumo de refrigeración nominal: 0,96 kW

Caudal de impulsión nominal: 450 m³/h

**Autónomo sólo frío**

Nombre: SIS18\_EQ5\_EQ\_ED\_AireAire\_SF-Defecto

Propiedades Básicas | Curvas

Capacidad total de refrigeración nominal: 3,00 kW

Capacidad sensible de refrigeración nominal: 2,25 kW

Consumo de refrigeración nominal: 1,20 kW

Caudal de impulsión nominal: 600 m³/h

Fig. 32 Caracterización sistemas de refrigeración .

### Puentes Térmicos

Antes de proceder a realizar la verificación del HE1 se ha de recalcular los puentes térmicos del edificio.

**Sistema dimensional interior**

Tipo puente:

Valor por defecto:  W/mK  
 Valor dado por usuario:  W/mK  
 Valor dado por catálogo:  W/mK

Longitud total:

**Nota:** Este valor es estimativo y puede no ajustarse exactamente al caso, por ejemplo si existen fachadas a medianeras o encuentros de cubiertas inclinadas con fachadas. Se recomienda verificar que es correcto.

Fig. 33 Cálculo de Puentes Térmicos.

Los valores transmitancia térmica lineal ( $\Psi_i$ ) de los puentes térmicos (dimensiones interiores) que ha calculado HULC, son los siguientes.

Puente térmico	Valor $\Psi_i$ (W/mK)
Cubiertas planas	0,96
Suelos en contacto con el terreno	0,57
Esquinas exteriores	0,11
Frentes de forjados	0,97
Forjados inferiores en contacto con el aire exterior	0,86
Dinteles	0,82
Alféizares	0,44
Jambas	0,53

Tabla 82. PT calculados por HULC.

### Resultados. Simulación Edificio sin rehabilitar

En este punto se verificará, mediante HULC, hasta qué punto el edificio de estudio cumple la normativa actual de Ahorro de Energía del CTE y se emitirán los documentos de certificación de eficiencia energética y de verificación de los requisitos de las distintas secciones (HE0, HE1, HE4 y HE5) del CTE.

En el informe se muestran algunas capturas de pantalla de los resultados que han dado los informes. Para consultar los documentos básicos HE0, HE1, HE4 y HE5 arrojados por HULC ver el punto *Cumplimiento requisitos mínimos CTE-HE-2019* en el Anexo del informe HULC.

### Resumen de las condiciones iniciales del edificio

Edificio sin aislamiento en envolvente opaca, con sombras en fachadas trasera de los bloques colindantes y vidrios en huecos con transmitancia total de energía solar del hueco con dispositivo de sombra móvil (persiana)  $g_{gl;sh;wi} = 0,11$  (para vidrios sencillos).

Ventanas de marco de aluminio y vidrio simple, salvo en tres viviendas que disponen, en sus fachadas principales (orientación SO y SE), de dobles ventanas de vidrio simple; en fachadas traseras (orientación NO y NE) son cinco las viviendas con dobles ventanas también de vidrio simple. Todos los marcos carecen de puente térmico.



Fig. 34 Detalle ventanas fachadas principales y traseras

### Verificación del CTE HE1 antes de la rehabilitación

(Fichero: *edif\_sin\_mejoras\_base.cthexml*)

Calidad de la envolvente térmica		Valores límite	
<b>Transmitancia térmica global, K [W/m<sup>2</sup>K]</b>	3,37	0,63	<b>NO CUMPLE</b>
Demandas del edificio Objeto:			
- Calefacción [kWh/m <sup>2</sup> año]	115,12		
- Refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> año]	23,42		
<b>Control solar, q<sub>sol</sub> [kWh/m<sup>2</sup>.mes]</b>	1,76	2,00	<b>CUMPLE</b>
<b>Relación de cambio de aire a 50 Pa, n50 [1/h]</b>	6,84	3,90	<b>NO CUMPLE</b>
Compacidad [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	3,40		
Superficie útil de cálculo, A <sub>útil</sub> [m <sup>2</sup> ]	654,95		
Superficie de cerramientos opacos, A <sub>opacos</sub> [m <sup>2</sup> ]	471,73		
Superficie de huecos, A <sub>huecos</sub> [m <sup>2</sup> ]	117,79		
Longitud de puentes térmicos, L <sub>pt</sub> [m]	1078,80		

Fig. 35 Verificación CTE HE1 antes de rehabilitación.

En el apartado *Comparativa de resultados y análisis* se analiza cada uno de los resultados que se van obteniendo según intervenciones; no obstante señalar:

- El único requisito que cumple el edificio (con la normativa actual del CTE) es el control solar. Este parámetro se cumple gracias a las persianas de que disponen todas las ventanas de las viviendas del edificio.
- Para mejorar el valor del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica del edificio (K), que indica el valor medio de transmisión de calor (en W/m<sup>2</sup>K) en la envolvente, se dotaran al edificio de una serie de mejoras a través de su rehabilitación energética. Dichas mejoras se comentan más adelante.
- La relación de cambio de aire a 50 Pa indica la permeabilidad al aire de la envolvente térmica a esa presión y tiene un valor de 6,84 l/h Valor muy alejado de los 3,90 l/h que marca el CTE. Para la mejora

de este indicador se sustituirán los marcos y cristales de los huecos por ventanas con vidrios y marcos de mayor calidad.

### Verificación de CTE HE0 HE4 y HE5 del edificio antes de la rehabilitación energética

HE0		Valores límite		
Consumo EP no renovable [kWh/m <sup>2</sup> .año]	222,40	38,00		<b>NO CUMPLE</b>
Consumo EP total [kWh/m <sup>2</sup> .año]	236,80	76,00		<b>NO CUMPLE</b>
Número de horas fuera de consigna	0	350		<b>CUMPLE</b>
Superficie útil de cálculo, Aútil [m <sup>2</sup> ]	654,95			
HE4 y HE5		Valores límite		
Cobertura renovable de la demanda de ACS (%)	0,00	60,00		<b>NO CUMPLE</b>
Potencia producción eléctrica instalada [kW]	0,00	-		<b>NO APLICA</b>

Fig. 36 Verificación CTE HE0 HE4 y HE5 antes de rehabilitación.

Se puede comprobar que el único parámetro que el edificio cumple es el número de horas fuera de consigna, los otros indicadores (Consumo de Energía Primaria (EP) no renovable, Consumo EP total y Cobertura renovable de la demanda de ACS) ni se cumplen ni se aproximan al valor mínimo que establece el CTE.

Dado que el edificio no dispone de fuentes renovables de energía todos los indicadores que midan consumos de energía renovable no se van a cumplir.

### Resultados de demandas consumos y emisiones antes de rehabilitación

		Calefacción	Refrigeración	A.C.S.	Ventilación	Iluminación	Otros
Demanda, D	kWh/m <sup>2</sup> año	115,12	23,42	27,96	-	-	-
Energía Final, C_ef	kWh/m <sup>2</sup> año	125,68	9,78	30,00	0,00	0,00	-
Energía Primaria Total, C_ep;tot	kWh/m <sup>2</sup> año	173,40	23,15	40,26	-	0,00	-
Energía Primaria No Renovable, C_ep;nren	kWh/m <sup>2</sup> año	164,68	19,10	38,57	-	0,00	-
Energía Primaria Renovable, C_ep;ren	kWh/m <sup>2</sup> año	8,72	4,05	1,69	-	0,00	-
Emisiones, E_CO2	kgCO2/m <sup>2</sup> año	33,24	3,24	7,86	-	0,00	-

Fig. 37 Resultados de demandas consumos y emisiones antes de rehabilitación.

Para obtener la Demanda o la Energía Final anual en todo el edificio (en calefacción, refrigeración y ACS) bastaría con multiplicar los kWh/m<sup>2</sup>año por la superficie útil del edificio (654,95 m<sup>2</sup>).

Los consumos de Energía Primaria Total, Primaria No Renovable, Primaria Renovable y Emisiones de CO<sub>2</sub> se obtienen a partir del consumo de Energía Final y empleando los factores de paso que se indican en Datos generales. Estos factores de paso dependen del tipo de energía que se esté consumiendo.

Como el edificio es viejo y aunque se haya tenido que indicar, carece de sistemas automáticos de ventilación, por este motivo los consumos de energía en ventilación son nulos. Los consumos en iluminación no son considerados por el CTE en edificios residenciales.

El **rendimiento medio estacional** de los dispositivos de climatización se puede hallar dividiendo Demanda D entre consumo de Energía Final, Cef.

## Calificación energética del edificio sin rehabilitación

### CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m <sup>2</sup> ·año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año)	
<37.10 A		<8.40 A	
37.10-60.1 B		8.40-13.60 B	
60.10-93.20 C		13.60-21.10 C	
93.20-143.30 D		21.10-32.40 D	
143.30-298.10 E	222,35 E	32.40-66.30 E	44,33 E
298.10-336.80 F		66.30-79.60 F	
=>336.80 G		=>79.60 G	

Fig. 38 Calificación energética del edificio sin rehabilitación.

Como era de esperar el bloque, un edificio de los años 60 sin ningún tipo de aislamiento, ha obtenido una letra de calificación baja tanto en Consumo de Energía Primaria no Renovable (letra E: 222,35 kWh/m<sup>2</sup>·año) como en Emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al gas de la calefacción y el ACS (letra E: 44,33 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·año).

DEMANDA DE CALEFACCIÓN		DEMANDA DE REFRIGERACIÓN	
<11.70 A		<5.50 A	
11.70-27.0 B		5.50-8.90 B	
27.00-48.70 C		8.90-13.90 C	
48.70-81.60 D		13.90-21.30 D	
81.60-144.10 E	115,12 E	21.30-26.30 E	23,42 E
144.10-157.10 F		26.30-32.40 F	
=>157.10 G		=>32.40 G	
Demanda de calefacción (kWh/m <sup>2</sup> año)		Demanda de refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> año)	

Fig. 39 Demandas de calefacción y refrigeración.

Separando las demandas de calefacción y refrigeración, la calificación parcial de ambas demandas de energía obtienen la letra D.

### Rehabilitación del edificio y medidas de mejora

Las medidas llevadas a cabo en la rehabilitación para la mejora del rendimiento energético del edificio (eficiencia energética del edificio) se recogen en el *Anexo I Soluciones Constructivas*. Estas medidas de mejora han sido:

- 1ª. Aislamiento de las fachadas exteriores del edificio mediante Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) de 6 cm y conductividad térmica de 0,035 W/mK.
- 2ª. Aislamiento tipo SATE en de cubierta y último forjado de 5 y 6 cm respectivamente.
- 3ª. Aislamiento térmico del forjado en contacto con el local semisótano por el techo del local de 6cm.
- 4ª. Renovación e instalación de dobles ventanas con mejor acristalamiento (4/6/4) y marco de aluminio con rotura de puente térmico.

Todas estas mejoras se han caracterizado en el fichero: *edificio\_rehabilitado\_\_sate\_6cmVer3.cthexml*

Las tres primeras mejoras tienen que ver con el aislamiento exterior de la envolvente opaca con sistema SATE (como ya se ha indicado el aislamiento por el exterior, además de no ocupar espacio útil de la vivienda tiene la ventaja de eliminar o disminuir en gran medida los puentes térmicos debidos a forjados y la unión de estos

con paredes exteriores. La 4ª medida pretende mejorar el aislamiento térmico y la mejora de la permeabilidad de los huecos de la envolvente a través de dobles ventanas con mayor calidad que las existentes.

Con la mejora de la envolvente (medidas 1ª, 2ª, 3ª y 4ª) se pretende disminuir la demanda de energía del edificio. Estas mejoras se verán directamente reflejadas en el documento básico **HE-1**, el cual trata sobre las **condiciones para el control de la demanda de energía** en los edificios. Las instalaciones climáticas (calefacción y refrigeración) y de ACS no afectan al HE-1.

Dado que no se han modificado en la rehabilitación las instalaciones climáticas (calefacción y refrigeración) y de ACS del edificio no habrá reducciones en el consumo energético por mejora de los sistemas climáticos (**HE-0**).

### 1ª. Aislamiento de las fachadas exteriores del edificio mediante Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE)

Esta mejora ha consistido en añadir por el exterior paneles de lana de roca de doble densidad con un espesor de 6 cm en todas las fachadas exteriores del edificio, tanto de la parte delantera como trasera, así como la parte de forjados que den al exterior. En la caracterización realizada en HULC estos cerramientos se llaman *Fachada Exterior Principal*, *Fachada Posterior* y *Mirador* y *Forjado pisos Miradores al Aire*.

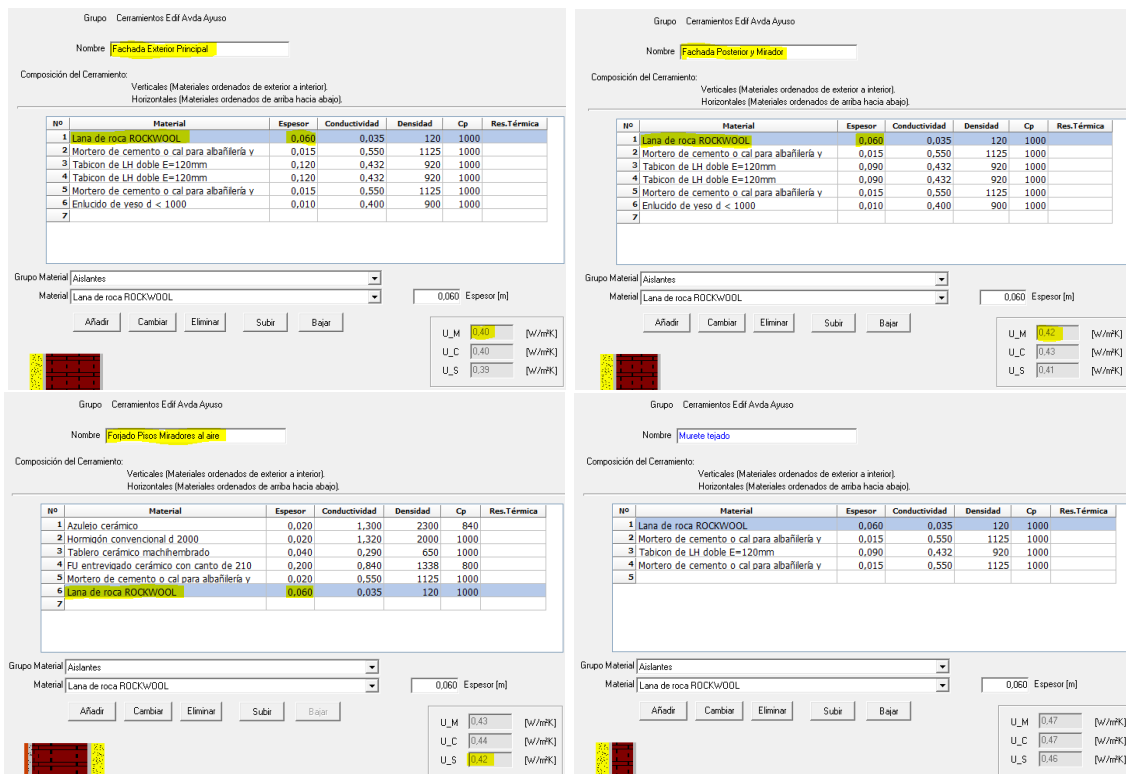


Fig. 40 Cerramientos con capa aislante de 6 cm.

El aislante del murete del tejado responde más a cuestiones de estética y homogeneidad de las fachadas que a la mejora en la transmitancia global que se consiga.

En lugar de utilizar un aislante de la base de datos de HULC, se ha creado un nuevo material llamado *Lana de roca ROCKWOOL* con las siguientes especificaciones:

- Panel de lana de roca ROCKWOOL RockSATE DUO PLUS, de doble densidad, según EN 13162, conductividad térmica de 0,035 W/mK, formato de 1200x600 y 60 mm de espesor, resistencia térmica 1,40 (m<sup>2</sup>K)/W, densidad capa superior 120 kg/m<sup>3</sup>, densidad capa inferior 70 kg/m<sup>3</sup>, y Euroclase A1 de reacción al fuego. Colocados "a testa" y a rompejuntas de forma plana y lisa en toda la superficie y en las esquinas y salientes de la fachada. En los huecos de puertas y ventanas, la esquina debe ser formada por una sola pieza de panel.

Grupo Aislantes

Nombre Lana de roca ROCKWOOL

---

Propiedades

Esesor (d) 0,060 m

Conductividad (λ) 0,035 W/m K

Densidad (ρ) 120 kg/m<sup>3</sup>

Calor Especifico (Cp) 1000 J/kg K

Fig. 41 Caracterización material Lana de Roca ROCKWOOL

## Nuevo color fachadas

Tras la colocación del aislante, el color de todas las fachadas exteriores del edificio será gris claro, salvo la parte baja de las fachadas principales y la que sobresale de la fachada que da a la avenida Rodríguez Ayuso cuyo color será gris oscuro.

Comp. Cerramiento Fachada Exterior Principal

Absortividad 0,40

Color Gris Claro

---

Comp. Cerramiento Fachada Exterior Principal

Absortividad 0,95

Color Gris Oscuro

Fig. 42 Color fachadas con capa aislante.

## 2ª mejora. Aislamiento tipo SATE en de cubierta y último forjado.

Esta mejora consistirá en:

- Colocar 6 cm de lana de roca en la parte superior del último forjado (entre los tabiques palomeros). Forjado que separa zona habitable con no habitable, llamado en HULC *Forjado Cubierta*.
- Mejorar la permeabilidad y aislamiento térmico de la cubierta a través de una capa de Onduline y otra de poliestireno extruido tipo III, (superficie acanalada Styrodur) de 5 cm

Grupo Ceramientos Edif Avda Ayuso

Nombre Forjado Cubierta

Composición del Ceramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior):

Nº	Material	Esesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Lana de roca ROCKWOOL	0,060	0,035	120	1000	
2	Hormón de convencional d 2000	0,020	1,320	2000	1000	
3	Tablero cerámico machihembrado	0,040	0,290	650	1000	
4	FU entrevigado cerámico con canto de 210	0,200	0,840	1338	800	
5	Enlucido de yeso d < 1000	0,020	0,490	900	1000	
6						

Grupo Material Aislantes

Material Lana de roca ROCKWOOL

0,060 Esesor [m]

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U\_M 0,43 [W/m²K]  
U\_C 0,44 [W/m²K]  
U\_S 0,42 [W/m²K]

Grupo Ceramientos Edif Avda Ayuso

Nombre Cubierta

Composición del Ceramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior):

Nº	Material	Esesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Teja de arcilla cocida	0,020	1,000	2000	800	
2	Onduline BT-50	0,002	0,040	1000	1883	
3	Poliestireno XPS acanal Styrodur	0,050	0,034	38	1000	
4	Mortero de cemento o cal para abañitería y	0,030	0,550	1125	1000	
5	Tablero cerámico machihembrado	0,040	0,290	650	1000	
6	Camera de aire ventilada, flujo ascendente					0,060
7						

Grupo Material Aislantes

Material Poliestireno XPS acanal Styrodur

0,050 Esesor [m]

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U\_M 0,51 [W/m²K]  
U\_C 0,52 [W/m²K]  
U\_S 0,50 [W/m²K]

Fig. 43 Cubierta y solera con capa aislante de 6 y 5 cm.

## 3ª. Aislamiento térmico del forjado en contacto con el local semisótano por el techo del local.

Esta tercera mejora ha consistido en la colocación de 6 cm de lana de roca en el techo del local (denominado *Forjado Techo Local* en HULC) es decir, en la última capa del forjado que separa la primera planta (espacio habitado) con el local (espacio no habitado).

Grupo Ceramientos Edif Avda Ayuso

Nombre: **Fotado Techo Local**

Composición del Ceramiento:

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior):

Horizontales (Materiales ordenados de arriba hacia abajo):

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Azulejo cerámico	0,020	1,200	2300	840	
2	Hormigón convencional d 2000	0,020	1,320	2000	1000	
3	Tablero cerámico machihembrado	0,040	0,290	650	1000	
4	FU entrevazado cerámico con canto de 210	0,200	0,840	1338	800	
5	Lana de roca ROCKWOOL	0,060	0,035	120	1000	
6						

Grupo Material: Aislantes

Material: Lana de roca ROCKWOOL

0,060 Espesor (m)

Añadir Cambiar Eliminar Subir Bajar

U<sub>M</sub> 0,44 [W/m²K]  
 U<sub>C</sub> 0,44 [W/m²K]  
 U<sub>S</sub> 0,43 [W/m²K]

Fig. 44 Solera local - Piso 1º con capa aislante de 6 cm.

### 4ª. Renovación e instalación de dobles ventanas con mejor acristalamiento y marco de aluminio con rotura de puente térmico.

A través de esta medida se pretende bajar la permeabilidad al aire del edificio y mejorar el valor de la transmitancia global K del edificio.

La rehabilitación de huecos consiste en sustituir, en todo el bloque, las ventanas de las escaleras y la hoja que da al exterior de aquellas viviendas con dobles ventanas. Se han elegido ventanas de baja permeabilidad, de vidrio doble con cámara 4/6/4 y marco de aluminio lacado en blanco de 60 micras con rotura de puente térmico. Son ventanas NTE-FCL-5 (ventanas correderas) Homologadas con Clase 3 según el ensayo de permeabilidad al aire según norma UNE-EN 1026:2000

En la colocación de las ventanas se procurará tapar y sellar todos los intersticios de los huecos por donde pueda haber infiltraciones. Con estas medidas se puede suponer una mejora en la permeabilidad de los huecos de clase 3 (permeabilidad al aire = 9 m³/hm² a 100Pa).

Clase según UNE 12207	Permeabilidad máxima m³/h m² para 100Pa
0	Sin ensayo (>100)
1	50
2	27
3	9
4	3

Mayor permeabilidad ↑

Permeabilidad al aire **9.00** m³/hm² a 100 Pa

Fig. 45 Permeabilidad dobles ventanas viviendas y ventanas escaleras.

La caracterización de los nuevos vidrios y marcos se encuentra en el punto *Creación de Materiales*. Los cálculos de las dobles ventanas se comentaron en el apartado Cálculo de dobles ventanas de este anexo y los detalles se encuentran en el fichero de Excel *Cálculos modelización Edificio en HULC.xlsx*, hoja *Dobles ventanas*.

Al quedar la caja de la persiana entre las dos ventanas que forman la doble ventana se ha decidido reducir el porcentaje de aumento de transmitancia por intercalarios y cajones de persianas a la mitad (5%)

Al poner vidrios dobles, la transmitancia total de energía solar de cada hueco con dispositivo de sombra móvil  $g_{gl;sh;wi}$  (con persiana exterior de color pastel) es ahora de 0,08.

Grupo Huecos Edif Avda Ayuso

Nombre: **Doble Ventana tras Rehabilitación**

Propiedades:

Grupo Vidrio: **Vidrios**

Vidrio: **Vidrio Doble Ventana tras rehab**

Grupo Marco: **Marcos**

Marco: **Marco Doble Ventana tras rehab**

% hueco cubierto por el marco: **20,00**  ¿Es una puerta?

Incremento de transmitancia por intercalarios y cajones de persiana integrados: **5,00** %

Permeabilidad al aire: **9,00** m³/hm² a 100 Pa

Transmitancia total de energía solar del acristalamiento con dispositivos de sombra móvil activados ( $g_{gl;sh;wi}$ ): **0,08**

U<sub>H</sub> **1,98** [W/m²K]

Fig. 46 Caracterización doble ventana con mejoras.



## Resultados. Simulación Edificio tras rehabilitación

### Mejora de la permeabilidad del edificio

Con los nuevos cristales y marcos se mejora la permeabilidad del edificio. La simulación muestra una mejora de más de un punto en la tasa de infiltración de aire del bloque (de 6,79renh a 5,15renh) lo cual redunda en un descenso de la demanda energética del edificio simulado.

Caudal de ventilación del edificio o vivienda [litros/s]	272,39
Permeabilidad por defecto	
Permeabilidad del edificio o vivienda actual , n50, [renh]	5,15
<input type="checkbox"/> El edificio tiene una envolvente mejorada con baja permeabilidad al aire	

Fig. 47 Ventilación. Permeabilidad del edificio con rehabilitación de huecos

### Verificación del CTE HE1 tras la rehabilitación

Calidad de la envolvente térmica		Valores límite	
<b>Transmitancia térmica global, K [W/m<sup>2</sup>K]</b>	1,98	0,63	<b>NO CUMPLE</b>
Demandas del edificio Objeto:			
- Calefacción [kWh/m <sup>2</sup> año]	66,73		
- Refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> año]	19,88		
<b>Control solar, q_sol;jul [kWh/m<sup>2</sup>.mes]</b>	1,46	2,00	<b>CUMPLE</b>
<b>Relación de cambio de aire a 50 Pa, n50 [1/h]</b>	5,15	3,90	<b>NO CUMPLE</b>

Fig. 48 Resultados tras rehabilitación del edificio

Aunque se sigue sin cumplir con la normativa actual del CTE (salvo dato del control solar que se cumple gracias a las persianas que disponen todas las ventanas de las viviendas del edificio) el valor de la transmitancia térmica global del edificio (K) ha mejorado pasando de 3,37 W/m<sup>2</sup>K a 1,98 W/m<sup>2</sup>K

### Verificación de CTE HE0 HE4 y HE5 del edificio tras la rehabilitación energética

HE0		Valores límite	
Consumo EP no renovable [kWh/m <sup>2</sup> .año]	150,80	38,00	<b>NO CUMPLE</b>
Consumo EP total [kWh/m <sup>2</sup> .año]	161,10	76,00	<b>NO CUMPLE</b>
Número de horas fuera de consigna	0	350	<b>CUMPLE</b>
Superficie útil de cálculo, Aútil [m <sup>2</sup> ]	654,95		
HE4 y HE5		Valores límite	
Cobertura renovable de la demanda de ACS (%)	0,00	60,00	<b>NO CUMPLE</b>
Potencia producción eléctrica instalada [kW]	0,00	-	<b>NO APLICA</b>

Fig. 49. Verificación HE0 HE4 y HE5 tras rehabilitación

Para un edificio de vieja construcción es difícil cumplir con las altas exigencias de ahorro energético que marca la normativa actual, no obstante la simulación muestra una disminución notable en el consumo energético del edificio. El consumo de Energía Primaria (EP) no renovable ha pasado de 222,40 kWh/m<sup>2</sup>año a 150,80 kWh/m<sup>2</sup>año

### Resultados de demandas consumos y emisiones tras la rehabilitación

		Calefacción	Refrigeración	A.C.S.	Ventilación	Iluminación	Otros
<b>Demanda, D</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	66,73	19,88	27,96	-	-	-
<b>Energía Final, C_ef</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	72,79	8,36	30,27	0,00	0,00	-
<b>Energía Primaria Total, C_ep;tot</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	100,41	19,81	40,91	-	0,00	-
<b>Energía Primaria No Renovable, C_ep;nren</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	95,36	16,34	39,10	-	0,00	-
<b>Energía Primaria Renovable, C_ep;ren</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	5,05	3,46	1,80	-	0,00	-
<b>Emisiones, E_CO2</b>	<b>kgCO2/m<sup>2</sup>año</b>	19,25	2,77	7,95	-	0,00	-

Fig. 50. Resultados de demandas consumos y emisiones tras la rehabilitación

### Calificación energética del edificio tras rehabilitación

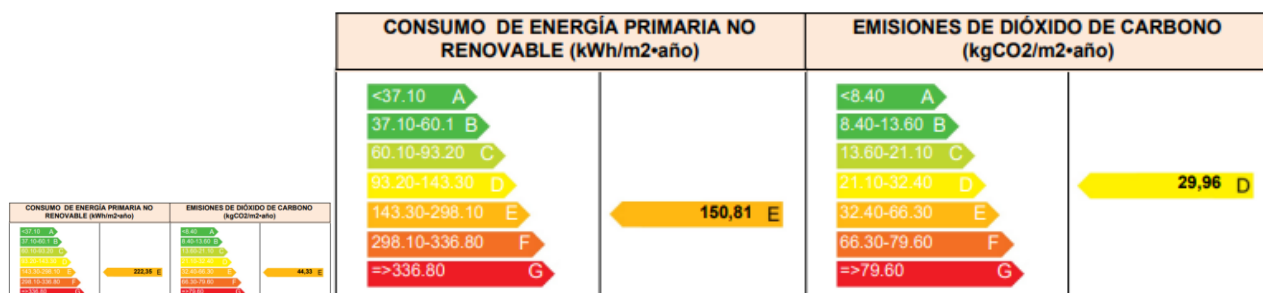


Fig. 51 Calificación energética del edificio con SATE y nuevas ventanas.

Tras la rehabilitación energética del edificio y las mejoras introducidas en el aislamiento de la envolvente (SATE de 6cm, y dobles ventanas en huecos de viviendas) han mejorado los valores de la calificación energética indicados por el software, y aunque se mantiene en Consumo de Energía Primaria No Renovable la misma letra (letra E: 150,81 kWh/m<sup>2</sup>año), el valor de este parámetro ha disminuido; mientras que en Emisiones de CO<sub>2</sub>, debidas al gas de calefacción y ACS, se ha conseguido mejorar la letra de certificación (letra D: 29,96 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>año).

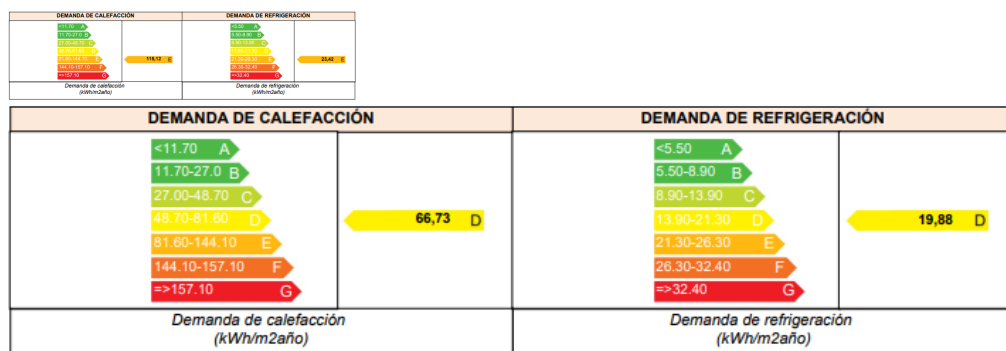


Fig. 52 Demandas de calefacción y refrigeración con SATE y nuevas ventanas.

Las letras de certificación de las Demandas de Calefacción y Refrigeración han mejorado (dado el mayor aislamiento en la envolvente del edificio) cambiando a la letra D

La demanda de calefacción obtiene letra D: 66,73 kWh/m<sup>2</sup>año y la demanda de energía eléctrica en refrigeración obtiene también letra D: 19,88 kWh/m<sup>2</sup>año.

## Sistemas de sustitución

Los resultados obtenidos en HULC incluyen los consumos de energía final de los equipos de sustitución (equipos ficticios que crea HULC cuando los sistemas reales no cubren las consignas de temperatura establecidas por el CTE). De cara a comparar resultados de facturas con resultados simulados, se van a desactivar estos equipos para que la comparación sea más objetiva.

### Resultados de demandas consumos y emisiones antes de rehabilitación sin sistemas de sustitución

		Calefacción	Refrigeración	A.C.S.	Ventilación	Iluminación	Otros
<b>Demanda, D</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	115,12	23,42	27,96	-	-	-
<b>Energía Final, C_ef</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	110,70	3,16	30,00	0,00	0,00	-
<b>Energía Primaria Total, C_ep;tot</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	155,49	7,49	40,26	-	0,00	-
<b>Energía Primaria No Renovable, C_ep;nren</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	146,84	6,18	38,57	-	0,00	-
<b>Energía Primaria Renovable, C_ep;ren</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	8,65	1,31	1,69	-	0,00	-
<b>Emisiones, E_CO2</b>	<b>kgCO2/m<sup>2</sup>año</b>	29,46	1,05	7,86	-	0,00	-

Fig. 53. Resultados de demandas consumos y emisiones antes de rehabilitación sin sistemas de sustitución

	kgCO2/m2.año	kgCO2/año
<i>Emisiones CO2 por consumo eléctrico</i>	8,85	5794,50
<i>Emisiones CO2 por combustibles fósiles</i>	29,52	19334,02

Fig. 54. Emisiones de CO2 por tipo de energía antes de rehabilitación sin sistemas de sustitución

### Resultados de demandas consumos y emisiones tras la rehabilitación sin sistemas de sustitución

		Calefacción	Refrigeración	A.C.S.	Ventilación	Iluminación	Otros
<b>Demanda, D</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	66,73	19,88	27,96	-	-	-
<b>Energía Final, C_ef</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	64,62	2,74	30,27	0,00	0,00	-
<b>Energía Primaria Total, C_ep;tot</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	90,65	6,49	40,91	-	0,00	-
<b>Energía Primaria No Renovable, C_ep;nren</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	85,64	5,35	39,10	-	0,00	-
<b>Energía Primaria Renovable, C_ep;ren</b>	<b>kWh/m<sup>2</sup>año</b>	5,01	1,13	1,80	-	0,00	-
<b>Emisiones, E_CO2</b>	<b>kgCO2/m<sup>2</sup>año</b>	17,19	0,91	7,95	-	0,00	-

Fig. 55. Resultados de demandas consumos y emisiones tras rehabilitación sin sistemas de sustitución

	kgCO2/m2.año	kgCO2/año
<i>Emisiones CO2 por consumo eléctrico</i>	6,03	3950,76
<i>Emisiones CO2 por combustibles fósiles</i>	20,01	13098,93

Fig. 56. Emisiones de CO2 por tipo de energía tras rehabilitación sin sistemas de sustitución

## Resumen de resultados simulación antes y después de rehabilitación

La Tabla 83 y Tabla 84 muestran el resumen de demandas, consumos y emisiones del edificio simulado en HULC antes y después de su rehabilitación sin sistemas de sustitución.

		Consumos sin REHABILITAR	Consumos Edificio (Simulación HULC)			
			Energía Final C_ef (kWh/m2año)	Energ Prim NO Ren C_ep;nren (kWh/m2año)	Demanda D (kWh/m2año)	
Edificio SIN rehabilitar (2019-2020)	Energía Final C_ef (kWh/m2año)	Calefacción (gas) (kWh/m2año)	110,7		146,84	115,12
		Calefacción (elec) (kWh/m2año)				
		ACS (gas) (kWh/m2año)	30		38,57	27,96
		ACS (elec) (kWh/m2año)				
		Refrigeración (elec) (kWh/m2año)	3,16		6,18	23,42
		Por Combustible fósil (gas) (kWh/m2año)		117,14		
		Por consumo eléctrico (kWh/m2año)		26,74		
		TOTAL Energía (kWh/m2año)	143,86	143,88	191,59	
				Emisiones Edificio. HULC		
				Emisiones CO2 (kgCO2/m2año)		
		Emisiones CO2 (kgCO2/m2año)	Por Calefacción (gas) (kgCO2/m2año)	29,46		
			Por ACS (gas) (kgCO2/m2año)	7,86		
	Por Refrigeración (elec) (kgCO2/m2año)		1,05			
	Por Combustible fósil (gas) (kgCO2/m2año)			29,52		
	Por consumo eléctrico (kgCO2/m2año)			8,85		
		TOTAL Emisiones CO2 (kgCO2/m2año)	38,37	38,37		

Tabla 83. Demandas, consumos y emisiones edificio simulado sin rehabilitación

		Consumos REHABILITADO	Consumos Edificio (Simulación HULC)			
			Energía Final C_ef (kWh/m2año)	Energ Prim NO Ren C_ep;nren (kWh/m2año)	Demanda D (kWh/m2año)	
Edificio Rehabilitado (2021-2022)	Energía Final C_ef (kWh/m2año)	Calefacción (gas y elec) (kWh/m2año)	64,62		85,64	66,73
		ACS (gas y elec) (kWh/m2año)	30,27		39,1	27,96
		Refrigeración (elec) (kWh/m2año)	2,74		5,35	19,88
		Por Combustible fósil (gas) (kWh/m2año)		79,40		
		Por consumo eléctrico (kWh/m2año)		18,22		
			TOTAL Energía (kWh/m2año)	97,63	97,62	130,09
				Emisiones Edificio. HULC		
				Emisiones CO2 (kgCO2/m2año)		
		Emisiones CO2 (kgCO2/m2año)	Por Calefacción (gas) (kgCO2/m2año)	17,19		
			Por ACS (gas) (kgCO2/m2año)	7,95		
			Por Refrigeración (elec) (kgCO2/m2año)	0,91		
			Por combustible fósil (gas) (kgCO2/m2año)		20,01	
	Por consumo eléctrico (kgCO2/m2año)			6,03		
		TOTAL Emisiones CO2 (kgCO2/m2año)	26,05	26,04		

Tabla 84. Demandas, consumos y emisiones edificio simulado tras rehabilitación

## ANEXO VII TFM Comparación resultados con simulación en HULC

### COMPARACIÓN ENTRE AHORROS REALES OBTENIDOS Y LOS CALCULADOS MEDIANTE EL SOFTWARE HULC

En esta sección se realiza la comparativa de los resultados de consumos reflejados en facturas con los resultados conseguidos en la simulación del bloque en HULC **sin sistemas de sustitución**.

Los datos y cálculos se encuentran en el libro de Excel: *Consumos - Resultados y Comparaciones.xlsx*

#### Resultados ANUALES. Edificio

##### Antes de Rehabilitación

		Consumos Edificio (según FACTURAS)			Consumos Edificio (Simulación Hulc)				
			Energía Final C_ef (kWh/m2año)		Energía Final C_ef (kWh/m2año)		Energ Prim NO Ren C_ep;nren (kWh/m2año)	Demanda D (kWh/m2año)	
Edificio SIN rehabilitar (2019-2020)	Energía Final C_ef (kWh/m2año)	Calefacción (gas) (kWh/m2año)	62,69		110,70		146,84	115,12	
		Calefacción (elec) (kWh/m2año)	Desconocido						
		ACS (gas) (kWh/m2año)	10,74		30,00		38,57	27,96	
		ACS (elec) (kWh/m2año)	Desconocido						
		Refrigeración (elec) (kWh/m2año)	4,03		3,16		6,18	23,42	
		Por Combustible fósil (gas) (kWh/m2año)		73,44		117,14			
		Por consumo eléctrico (kWh/m2año)		43,69		26,74			
		<b>TOTAL Energía (kWh/m2año)</b>		<b>117,13</b>		<b>143,86</b>	<b>143,88</b>	<b>191,59</b>	
	<b>Emisiones CO2 Edificio</b>			<b>Emisiones CO2 Edificio</b>					
	Emisiones CO2 (kgCO2/m2año)	Por Calefacción (gas) (kgCO2/m2año)	16,04		29,46				
Por ACS (gas) (kgCO2/m2año)		2,71		7,86					
Por Refrigeración (elec) (kgCO2/m2año)		1,33		1,05					
Por Combustible fósil (gas) (kgCO2/m2año)			18,51		29,52				
Por consumo eléctrico (kgCO2/m2año)			14,46		8,85				
<b>TOTAL Emisiones CO2 (kgCO2/m2año)</b>		<b>32,97</b>		<b>38,37</b>	<b>38,37</b>				

Tabla 85. Resultados anuales Edificio según facturas y HULC antes de rehabilitación

##### Tras Rehabilitación

		Consumos Edificio (según FACTURAS)			Consumos Edificio (Simulación Hulc)				
			Energía Final C_ef (kWh/m2año)		Energía Final C_ef (kWh/m2año)		Energ Prim NO Ren C_ep;nren (kWh/m2año)	Demanda D (kWh/m2año)	
Edificio Rehabilitado (2021-2022)	Energía Final C_ef (kWh/m2año)	Calefacción (gas) (kWh/m2año)	55,00		64,62		85,64	66,73	
		Calefacción (elec) (kWh/m2año)	Desconocido						
		ACS (gas) (kWh/m2año)	6,12		30,27		39,1	27,96	
		ACS (elec) (kWh/m2año)	Desconocido						
		Refrigeración (elec) (kWh/m2año)	4,02		2,74		5,35	19,88	
		Por Combustible fósil (gas) (kWh/m2año)		61,12		79,40			
		Por consumo eléctrico (kWh/m2año)		41,07		18,22			
		<b>TOTAL Energía (kWh/m2año)</b>		<b>102,19</b>		<b>97,63</b>	<b>97,62</b>	<b>130,09</b>	
	<b>Emisiones CO2 Edificio</b>			<b>Emisiones CO2 Edificio</b>					
	Emisiones CO2 (kgCO2/m2año)	Por Calefacción (gas) (kgCO2/m2año)	13,86		17,19				
Por ACS (gas) (kgCO2/m2año)		1,54		7,95					
Por Refrigeración (elec) (kgCO2/m2año)		1,33		0,91					
Por combustible fósil (gas) (kgCO2/m2año)			15,40		20,01				
Por consumo eléctrico (kgCO2/m2año)			13,59		6,03				
<b>TOTAL Emisiones CO2 (kgCO2/m2año)</b>		<b>29,00</b>		<b>26,05</b>	<b>26,04</b>				

Tabla 86. Resultados anuales Edificio según facturas y HULC tras rehabilitación

## Comparativa anual. Edificio

Todas las comparaciones se realizan en base a las facturas recogidas, dado que estas son el dato más objetivo. Aunque hay que tener en cuenta que, como ya se ha mencionado anteriormente, los consumos puntuales o la diferencia entre consumos de gas en calefacción y ACS se han realizado a partir de estimaciones lo que implica cierto margen de error que se traduce a las comparaciones realizadas.

Dado que el año empleado en facturas comienza en julio, al plasmar este tipo de año, la mitad de los meses corresponden a un año y la otra mitad a otro año.

Los datos de HULC son los devueltos por el programa **sin sistemas de sustitución**.

Las tablas y cálculos se encuentran en el libro de Excel: *Consumos - Resultados y Comparaciones.xlsx*

Comparaciones realizadas:

- Comparación anual. Edificio (sin rehabilitar y completamente rehabilitado).
  - Comparación de consumos de energía final de calefacción, ACS y Refrigeración.
  - Comparación de consumos por fuente energética.
  - Comparativa Emisiones de CO2 .
- Comparación anual. Viviendas (Edificio sin rehabilitar y completamente rehabilitado).
  - Comparación de consumos de energía final de calefacción, ACS y Refrigeración.
  - Comparación de consumos por fuente energética.
  - Comparativa Emisiones de CO2.
- Comparativa mensual. Edificio (sin rehabilitar y completamente rehabilitado).
  - Comparación de consumos de energía final de calefacción, ACS y Refrigeración.
  - Comparación de consumos por fuente energética.
  - Comparativa Emisiones de CO2.
- Comparativa mensual. Viviendas (Edificio sin rehabilitar y completamente rehabilitado).
  - Comparación de consumos de energía final de calefacción, ACS y Refrigeración.
  - Comparación de consumos por fuente energética.
  - Comparativa Emisiones de CO2.

Todas las diferencias porcentuales, entre consumos reales y consumos simulados, mayores al 50% se han destacado en **rojo**.

## Comparación anual. Edificio

En la siguiente sección *Diagnóstico de las causas de las posibles desviaciones* (ANEXO VIII *Diagnóstico de las causas de las posibles desviaciones*) se evaluarán con más detalle todos estos resultados y diferencias.

### Edificio sin rehabilitar

#### Comparación de consumos de energía final de calefacción, ACS y Refrigeración.

Comparativa por servicios. Edificio SIN Rehabilitación			
Consumo energético Anual. EDIFICIO	Facturas	HULC	Diferencia
Calefacción (gas) (kWh/m2año)	62,69	110,70	77%
Calefacción (elec) (kWh/m2año)	Desconocido		
ACS (gas) (kWh/m2año)	10,74	30,00	179%
ACS (elec) (kWh/m2año)	Desconocido		
Refrigeración (elec) (kWh/m2año)	4,03	3,16	-22%

Tabla 87. **Comparación de consumos anuales de energía final por servicios (Calefacción, ACS y Refrigeración). Edificio sin rehabilitar**

## Comparación de consumos por fuente energética

Comparativa por fuentes energéticas. Edificio SIN Rehabilitación			
Consumo energético Anual. EDIFICIO	Facturas	HULC	Diferencia
Por Combustible fósil (gas) (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)	73,44	117,14	60%
Por consumo eléctrico (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)	43,69	26,74	-39%

Tabla 88. Comparación de consumos diferenciados por fuente energética. Sin rehabilitación

## Comparativa Emisiones de CO<sub>2</sub>

Emisiones CO <sub>2</sub> Año. EDIFICIO	Facturas	HULC	Diferencia
TOTAL Emisiones CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)	32,97	38,37	16%

Tabla 89. Comparativa Emisiones de CO<sub>2</sub>. Edificio sin rehabilitar

## Edificio completamente rehabilitado

### Comparación de consumos de energía final de calefacción, ACS y Refrigeración.

Comparativa por servicios. Edificio Rehabilitado			
Consumo energético Anual. EDIFICIO	Facturas	HULC	Diferencia
Calefacción (gas) (kWh/m <sup>2</sup> año)	55,00	64,62	17%
Calefacción (elec) (kWh/m <sup>2</sup> año)	Desconocido		
ACS (gas) (kWh/m <sup>2</sup> año)	6,12	30,27	395%
ACS (elec) (kWh/m <sup>2</sup> año)	Desconocido		
Refrigeración (elec) (kWh/m <sup>2</sup> año)	4,02	2,74	-32%

Tabla 90. Comparación de consumos anuales de energía final por servicios (Calefacción, ACS y Refrigeración). Edificio rehabilitado

## Comparación de consumos por fuente energética

Comparativa por fuentes energéticas. Edificio Rehabilitado			
Consumo energético Anual. EDIFICIO	Facturas	HULC	Diferencia
Por Combustible fósil (gas) (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)	61,12	79,40	30%
Por consumo eléctrico (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)	41,07	18,22	-56%

Tabla 91. Comparación de consumos diferenciados por fuente energética. Edificio Rehabilitado

## Comparativa Emisiones de CO<sub>2</sub>

Emisiones CO <sub>2</sub> Edificio ANUAL	Facturas	HULC	Diferencia
TOTAL Emisiones CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año)	29,00	26,05	-10%

Tabla 92. Comparativa Emisiones de CO<sub>2</sub>. Edificio Rehabilitado

En el análisis de todas estas comparativas se observa que:

- Las diferencias entre facturas y HULC son mayores en el edificio sin rehabilitar.
- El mayor desfase entre consumos mediante facturas y simulación se produce en los consumos de ACS
- Los consumos de energía eléctrica en refrigeración son mayores en facturas que en simulación.
- Las mayores aproximaciones se producen en la comparación de emisiones de CO<sub>2</sub>
- Las emisiones de CO<sub>2</sub> son mayores en HULC en el edificio sin rehabilitación y mayores en facturas con el edificio completamente rehabilitado.

## Comparativa mensual. Edificio

### Comparación de consumos de energía final de calefacción y ACS

Para la obtención de los datos de consumo por medio de facturas, se han extrapolado al edificio los consumos energéticos de cada edificio monitorizado, esto implica un margen de error que influye en los resultados obtenidos

Comparativa por servicios. Edificio Rehabilitado							
Consumo Calefacción (gas+ elec) (kWh/m2año)				Consumo ACS (gas+ elec) (kWh/m2año)			
Consumos Mes EDIFICIO	Facturas	HULC (PostCALENER)	Diferencia	Consumos Mes EDIFICIO	Facturas	HULC (PostCALENER)	Diferencia
Enero	11,39	15,18	33%	Enero	0,52	2,9	458%
Febrero	8,90	10,22	15%	Febrero	0,47	2,56	445%
Marzo	7,82	7,71	-1%	Marzo	0,52	2,78	435%
Abril	2,76	3,93	42%	Abril	0,50	2,57	411%
Mayo	2,12	1,98	-7%	Mayo	0,52	2,49	379%
Junio	0,00	0		Junio	0,50	2,29	355%
Julio	0,00	0		Julio	0,52	2,2	327%
Agosto	0,00	0		Agosto	0,50	2,26	355%
Septiembre	0,90	0	-100%	Septiembre	0,50	2,29	355%
Octubre	3,61	1,24	-66%	Octubre	0,52	2,54	389%
Noviembre	5,61	9,04	61%	Noviembre	0,50	2,69	435%
Diciembre	11,84	15,11	28%	Diciembre	0,52	2,9	458%
<b>TOTAL AÑO</b>	<b>54,95</b>	<b>64,41</b>	<b>17%</b>	<b>TOTAL AÑO</b>	<b>6,09</b>	<b>30,47</b>	<b>400%</b>

Tabla 93. Consumos de energía mensual del edificio por servicios (calefacción y ACS)

En el análisis de la Tabla 93 se observa que:

- Las diferencias de consumos de calefacción el primer semestre del año son relativamente pocas entre consumos reales y simulados.
- Las diferencias porcentuales mayores entre consumos de calefacción provienen de los meses de otoño, estas diferencias tan elevadas pueden deberse a diferencias entre los perfiles de uso de calefacción por parte de los usuarios y el perfil de uso que emplea HULC en sus cálculos. En los meses de septiembre y octubre el desfase se debe a haber estimado el autor de este trabajo un consumo en calefacción, consumo poco probable pero adjudicado a calefacción para mantener el consumo de ACS proporcional al del resto del año.
- Las diferencias porcentuales más sobresalientes se encuentran en el consumo de ACS. Estas diferencias están disparadas.
- Las diferencias porcentuales del total del año en calefacción son aceptables
- Los valores de consumo considerados en HULC son mayores que los facturados



## Comparativa mensual. Consumos de GAS en Viviendas. Edificio rehabilitado

Solo se van a reflejar los consumos mensuales de las viviendas con el edificio ya rehabilitado.

### Comparación de consumos por fuente energética. Gas

Los valores mensuales de consumos en cada vivienda, según facturas, se han sacado multiplicando el consumo medio diario de un periodo facturado por los días del mes que corresponden a ese consumo medio diario facturado.

Los valores mensuales de consumos de gas en cada vivienda, según HULC, se han sacado utilizando los resultados mensuales de consumo de combustible dados por PostCalener de cada caldera de las viviendas de muestra.

Consumo GAS (cale+ACS) (kWh/m2año)				Consumo GAS (cale+ACS) (kWh/m2año)				Consumo GAS (cale+ACS) (kWh/m2año)			
Consumo mes P3 (1º-1ª)	Facturas	HULC	Diferencia	Consumos mes P2 (3º-3ª)	Facturas	HULC	Diferencia	Consumos mes P1 (5º-2ª)	Facturas	HULC	Diferencia
Enero	18,49	20,05	8%	Enero	3,85	16,84	338%	Enero	21,72	19,06	-12%
Febrero	14,74	15,14	3%	Febrero	5,21	11,34	118%	Febrero	8,44	13,47	60%
Marzo	13,19	12,22	-7%	Marzo	4,45	9,04	103%	Marzo	7,98	11,03	38%
Abril	5,34	7,15	34%	Abril	1,19	5,24	340%	Abril	4,50	6,61	47%
Mayo	4,23	4,25	1%	Mayo	0,94	3,04	222%	Mayo	4,01	4,05	1%
Junio	0,50	1,02	104%	Junio	0,12	0,87	641%	Junio	2,10	1,52	-27%
Julio	0,49	0,98	99%	Julio	0,12	0,84	589%	Julio	2,22	1,46	-34%
Agosto	0,39	1,01	158%	Agosto	0,12	0,86	603%	Agosto	2,42	1,50	-38%
Septiembre	1,80	1,02	-43%	Septiembre	0,82	0,87	5%	Septiembre	2,63	1,52	-42%
Octubre	5,29	3,23	-39%	Octubre	3,33	2,25	-33%	Octubre	4,32	3,44	-20%
Noviembre	8,69	13,23	52%	Noviembre	3,21	10,26	219%	Noviembre	9,61	12,25	28%
Diciembre	19,12	20,45	7%	Diciembre	3,29	16,40	399%	Diciembre	25,33	18,72	-26%
<b>TOTAL AÑO</b>	<b>92,26</b>	<b>99,76</b>	<b>8%</b>	<b>TOTAL AÑO</b>	<b>26,65</b>	<b>77,84</b>	<b>192%</b>	<b>TOTAL AÑO</b>	<b>95,28</b>	<b>94,65</b>	<b>-1%</b>

. Comparativa Facturas – HULC (PostCALENER) de consumos de gas mensuales por viviendas

### Comparativa Emisiones de CO2 por fuente energética. Gas

Al estar multiplicados los consumos por el factor de paso del Gas (una constante) las diferencias porcentuales son las mismas y todo lo indicado en los consumos es válido para las emisiones.

Por Combustible fósil (gas) (kgCO2/m2año)				Por Combustible fósil (gas) (kgCO2/m2año)				Por Combustible fósil (gas) (kgCO2/m2año)			
Emisiones CO2 mes P3 (1º-1ª)	Facturas	HULC	Diferencia	Emisiones CO2 mes P2 (3º-3ª)	Facturas	HULC	Diferencia	Emisiones CO2 mes P1 (5º-2ª)	Facturas	HULC	Diferencia
Enero	4,66	5,05	8%	Enero	0,97	4,24	338%	Enero	5,47	4,80	-12%
Febrero	3,72	3,82	3%	Febrero	1,31	2,86	118%	Febrero	2,13	3,40	60%
Marzo	3,32	3,08	-7%	Marzo	1,12	2,28	103%	Marzo	2,01	2,78	38%
Abril	1,35	1,80	34%	Abril	0,30	1,32	340%	Abril	1,13	1,66	47%
Mayo	1,07	1,07	1%	Mayo	0,24	0,77	222%	Mayo	1,01	1,02	1%
Junio	0,13	0,26	104%	Junio	0,03	0,22	641%	Junio	0,53	0,38	-27%
Julio	0,12	0,25	99%	Julio	0,03	0,21	589%	Julio	0,56	0,37	-34%
Agosto	0,10	0,25	158%	Agosto	0,03	0,22	603%	Agosto	0,61	0,38	-38%
Septiembre	0,45	0,26	-43%	Septiembre	0,21	0,22	5%	Septiembre	0,66	0,38	-42%
Octubre	1,33	0,81	-39%	Octubre	0,84	0,57	-33%	Octubre	1,09	0,87	-20%
Noviembre	2,19	3,33	52%	Noviembre	0,81	2,59	219%	Noviembre	2,42	3,09	28%
Diciembre	4,82	5,15	7%	Diciembre	0,83	4,13	399%	Diciembre	6,38	4,72	-26%
<b>TOTAL AÑO</b>	<b>23,25</b>	<b>25,14</b>	<b>8%</b>	<b>TOTAL AÑO</b>	<b>6,72</b>	<b>19,62</b>	<b>192%</b>	<b>TOTAL AÑO</b>	<b>24,01</b>	<b>23,85</b>	<b>-1%</b>

. Comparativa Facturas– HULC (PostCALENER) de emisiones CO2 (gas) mensuales por viviendas

En el análisis de estas comparativas se observa que:

- En las viviendas P1 y P3 la diferencia de consumos de gas, entre facturas y HULC, tomando el valor anual, es muy baja.

- En las viviendas P1 y P3 son menores las diferencias porcentuales cuando se comparan consumos de gas en los periodos invernales (mayor parte del consumo en gas). Esto demuestra que la diferencia entre consumos reales y simulados en calefacción, es mucho menor que en ACS.
- En las vivienda P2 hay una diferencia muy notoria de consumos de gas entre facturas y HULC. Dado que en las entrevistas la propietaria informó de ausencias intermitentes, esta será la razón de tal magnitud de desfase porcentual.
- En la vivienda P3 las mayores diferencias se dan en el verano donde los consumos de gas son debidos exclusivamente al ACS. Este dato está en consonancia con las diferencias tan grandes, vistas anteriormente, cuando se comparaban consumos de ACS a nivel de edificio.

## Resultados en edificio y viviendas seleccionadas tras rehabilitación.

		Facturas viviendas Avda. Rodríguez Ayuso					
		P1 (5º-3º)	P2 (3º-3º)	P3 (1º-1º)	Edificio		
		Energía Final C_ef (kWh/m² año)					
Edificio Rehabilitado (2021-2022)	Energía Final C_ef (kWh/m² año)	Calefacción (gas) (kWh/m² año)	70,13	25,25	86,23	55,00	
		Calefacción (elec) (kWh/m² año)	No hay sistema de calefacción eléctrica en pisos monitorizados				
		Refrigeración (elec) (kWh/m² año)	5,82	-	2,80	4,02	
		ACS (gas) (kWh/m² año)	25,53	1,43	6,09	6,12	
		ACS (elec) (kWh/m² año)	No hay sistema de ACS eléctrica en pisos monitorizados				
		Por consumo eléctrico (kWh/m² año)	36,70	37,64	32,03	41,07	
		Por Combustible fósil (gas) (kWh/m² año)	95,67	26,67	92,32	61,12	
		TOTAL Energía (kWh/m² año)	132,37	64,31	124,35	102,19	
				Emisiones CO2 (kgCO2/m² año)			
		Emisiones CO2 (kgCO2/m² año)	Por Calefacción (gas) (kgCO2/m² año)	17,67	6,36	21,73	13,86
Por Calefacción (elec) (kgCO2/m² año)	No hay sistema de calefacción eléctrica en pisos monitorizados						
Por Refrigeración (elec) (kgCO2/m² año)	1,93		-	0,93	1,33		
Por ACS (gas) (kgCO2/m² año)	6,43		0,36	1,53	1,54		
Por ACS (elec) (kgCO2/m² año)	No hay sistema de ACS eléctrica en pisos monitorizados						
Por consumo eléctrico (kgCO2/m² año)	12,15		12,46	10,60	13,59		
Por Combustible fósil (gas) (kgCO2/m² año)	24,11		6,72	23,26	15,40		
TOTAL Emisiones CO2 (kgCO2/m² año)	26,03		36,26	33,87	29,00		

En la siguiente Sección ( ANEXO VIII TFM Diagnóstico de las causas de las posibles desviaciones se trata de determinar las causas que propician diferencias tan grandes entre los resultados provenientes de los datos reflejados en facturas y la simulación realizada en HULC.

## ANEXO VIII TFM Diagnóstico de las causas de las posibles desviaciones

### DIAGNÓSTICO DE LAS CAUSAS DE LAS POSIBLES DESVIACIONES

En esta sección se diagnostican las causas de las desviaciones entre los resultados obtenidos por medio de las facturas de consumos de gas y electricidad y los obtenidos en la simulación del bloque en el programa HULC. Algunas de estas diferencias ya han sido comentadas en las observaciones sobre las comparativas realizadas, en esta sección se profundizan dichas observaciones.

#### Causas de las desviaciones observadas

Las desviaciones, algunas de ellas muy elevadas, entre los datos arrojados por las facturas y los devueltos por HULC pueden venir, entre otras, de las siguientes causas:

#### Diferencias entre consumos y viviendas con sistemas de calefacción y ACS eléctricos

- En las comparaciones de consumos por servicios HULC no diferencia entre calefacción y ACS por gas y por electricidad, (dado que la suma de consumos de gas y ACS no coincide con el consumo de combustible fósil, ni el valor de consumo en refrigeración eléctrica coincide con el consumo eléctrico como se puede ver en la Tabla 94).
- El programa de simulación no incluye los consumos eléctricos debidos a luces y electrodomésticos, este es el motivo por el cual en la simulación coinciden la columna de suma de valores de consumos por servicios con la columna que suma valores de consumos por tipo de energía; mientras que en los valores obtenidos a partir de facturas, las columnas no coinciden al estar añadidos, a los consumos en refrigeración, los consumos eléctricos en iluminación y electrodomésticos (ver Tabla 94) (aunque en este consumo eléctrico total no están contemplados los consumos en electricidad de calefacción y ACS de las dos viviendas que no disponen de caldera de gas).
- Estas diferencias hacen que los consumos por servicios de calefacción y ACS simulados siempre sean mayores a los facturados y que los consumos por tipo de energía eléctrica sean mayores en los consumos facturados que en los de HULC.

Consumos REHABILITADO	Consumos Edificio (según FACTURAS)		Consumos Edificio (Simulación HULC)	
	Energía Final C_ef (kWh/m2año)		Energía Final C_ef (kWh/m2año)	
Calefacción (kWh/m2año)	55,00	→ solo gas	72,79	→ gas y elec
ACS (kWh/m2año)	6,12	→ solo gas	30,27	→ gas y elec
Refrigeración (elec) (kWh/m2año)	4,02		8,36	
Por Combustible fósil (gas) (kWh/m2año)		61,12		87,58
Por consumo eléctrico (kWh/m2año)	Refrig, iluminación y electrodo ←	41,07	Calefac + ACS + Refrig ←	23,87
TOTAL Energía (kWh/m2año)	65,14	<b>102,19</b>	<b>111,42</b>	<b>111,45</b>

Tabla 94. Comparación de consumos en edificio rehabilitado según facturas y según HULC

#### Caracterización fachadas y grosor de muros

En la caracterización en HULC de las fachadas del edificio se siguieron las indicaciones del proyecto original, dichas indicaciones se apoyaron con el estudio realizado por F. Kurt, et al *Obsolescencia de la envolvente térmica y acústica de la vivienda social de la postguerra española en áreas urbanas vulnerables. El caso de Zaragoza* [21], estudio que trata de la obsolescencia de la envolvente térmica y acústica en 21 bloques urbanos de Zaragoza construidos en la misma época del de Avda. Rodríguez Ayuso.

Una de las soluciones constructivas de fachadas que se menciona en el estudio es idéntica a la del plano original (Figura 26) razones suficientes por las que se eligió la caracterización en HULC de esta solución constructiva.

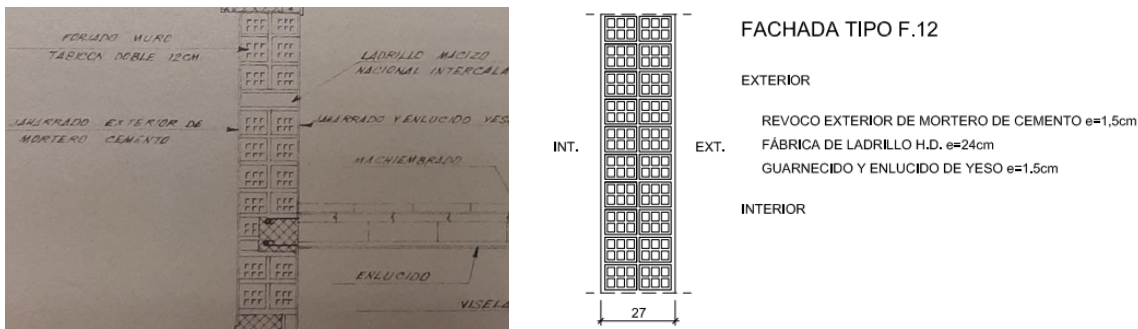


Figura 26. Plano original muro fachada y muro fachada artículo

Sin embargo en una de las visitas realizadas a los vecinos del inmueble, la observación de la contraventana del piso P3 (1<sup>o</sup>-1<sup>a</sup>) denotó un ancho de muro superior al caracterizado (Figura 27), si bien parte de este ancho proviene de la capa aislante y las protecciones de la misma, el ancho observado (entre 40 y 50 cm) implicaría una composición del muro de mayor grosor que el caracterizado (27 cm) lo cual implicaría mayor grosor de envolvente y menores demandas y por lo tanto consumos, con lo que las diferencias entre facturas y simulación se acortarían. Esta diferencia sería mucho mayor en el edificio sin rehabilitar, dado que en el rehabilitado la capa que tiene más importancia, térmicamente hablando, es la capa aislante independientemente de cuál fuera el grosor del muro original, por eso las diferencias en consumos de calefacción, entre facturas y simulación son menores en el edificio rehabilitado.



Figura 27. Muro en doble ventana 1<sup>o</sup>-1<sup>a</sup>

### Pobreza energética y ausencias prolongada de los hogares.

Otra posibilidad que explicaría el desfase tan grande entre los datos arrojados por las facturas y los devueltos por HULC sería que en las viviendas seleccionadas los ocupantes tuvieran un perfil de uso muy moderado y no activaran los sistemas de calefacción el tiempo suficiente (a costa de aumentar el desconfort térmico) con lo que los consumos serían diferentes a los simulados. En este sentido hay estudios que señalan estos desfases entre pobreza energética y consumos simulados [22]. Sin embargo las monitorizaciones de las tres viviendas indican que se cumplen, en invierno, los estándar de confort térmico y en las entrevistas realizadas no se han identificado signos de pobreza energética.

La ausencia prolongada de los hogares o el aumento de personas que viven en las viviendas modifican el perfil de uso real haciendo que difiera del perfil de uso simulado. Durante la pandemia se han dado ambos casos (ver apartado Efectos Pandemia y Guerra en la sección Análisis realizados y resultados obtenidos (ANEXO IV Análisis realizados y resultados obtenidos), igualmente en las entrevistas realizadas se ha constatado que la propietaria del piso P2 (3<sup>o</sup>-3<sup>a</sup>) pasa temporadas, no concretadas, fuera del hogar (punto Perfil Social. Entrevistas y hábitos de consumo de la sección Selección y características de tres viviendas del inmueble objeto del estudio (ANEXO II Viviendas Monitorizadas).

## Suposiciones realizadas que restan precisión a los resultados

### Calefacción y ACS por gas

Las calderas de las viviendas motorizadas mostradas en la *Tabla 6* del apartado *Perfil energético del edificio. Sistemas de climatización* de la sección *Viviendas monitorizadas* (Anexo II *Viviendas monitorizadas*) son las únicas calderas cuyos modelos se conocen. Para el resto de las 9 viviendas con calderas de gas **se han supuesto calderas murales con características intermedias a las de las calderas conocidas**. Calderas murales estancas de gas con una potencia nominal a 80°C de 24 kW y un rendimiento sobre PCI a 80°C del 93%.

La determinación del consumo de ACS se ha realizado en función del gasto energético de gas en la factura bimensual de finales de mayo a finales de julio; periodos más probable de que el gasto energético de gas fuera todo de ACS y que los usuarios permanecieran en sus hogares. Esto no ha sido así en el caso de una de las vivienda seleccionadas con lo que el cálculo de ACS tiene un margen de error elevado.

A este punto hay que añadir que el software calcula los consumos en ACS en función de la ocupación y litros por vivienda indicada en la caracterización de los sistemas de ACS (ver Anexo VI *Modelización en HULC del Edificio y Resultados Simulación*) mientras que la extrapolación de consumos de ACS reflejada en la sección *Eficiencia y ahorro energético alcanzado* (Anexo V *Eficiencia y ahorro energético alcanzado*) se reflejan a todo el edificio los consumos realizados en dos viviendas donde solo vive una persona y otra vivienda donde viven 2 cuando la realidad el edificio, mostrada en la *Tabla 95* del anexo II *Viviendas Monitorizadas* es otra diferente (donde la media de ocupación está en 3 personas).

### Calefacción y ACS eléctricas.

En las dos viviendas que carecen de calderas de gas se han supuesto radiadores eléctricos con una potencia total por vivienda 5500 W eléctricos. Estas dos viviendas se han caracterizado en HULC con sendas calderas eléctricas mixtas de 10 kW de potencia.

### Sistemas de refrigeración.

Se conocen las características de los sistemas de refrigeración de las viviendas monitorizadas, (*Tabla 8* del apartado *Perfil energético del edificio. Sistemas de climatización*, en la sección *Viviendas monitorizadas* Anexo II *Viviendas monitorizadas*), son las introducidos en el programa HULC. Para los otros tres que dispone el edificio se han supuesto los datos.

## Limitaciones del trabajo y estimaciones realizadas

### Limitaciones del estudio

- Facturas bimensuales de consumos de gas no permiten diferenciar entre tramos de mucho y poco consumo dentro de la misma factura; o lo que es lo mismo, no permiten discernir entre semanas de ocupación y semanas donde las viviendas han estado vacías; esta situación **obliga a realizar estimaciones y suposiciones que aumentan los márgenes de error**. Como por ejemplo el cálculo de ACS en las viviendas.
- La estrategia seguida para la estimación del consumo de los kWh/año de ACS ha sido:
  - Medir los consumos de gas en la factura correspondiente a finales de mayo y finales de julio. Periodo cálido donde **es más probable** que las viviendas estén ocupadas y que todo el consumo de gas sea en ACS.
  - Sacar la media diaria, en el periodo elegido, del consumo de energía en ACS.
  - Multiplicar la media diaria de ACS por 365 para sacar el consumo medio anual de ACS (kWh/año)

- Dividir el consumo medio anual de ACS entre la superficie de la vivienda correspondiente para sacar el consumo medio anual ACS por m<sup>2</sup> (kWh/m<sup>2</sup>año)

Medir consumos en facturas de ACS en verano y extender dichos consumos al resto del año, no tiene en cuenta que en invierno el consumo de ACS es mayor que en verano (vacaciones estivales, más necesidad de agua caliente en invierno)

- A finales de enero de 2021 ya estaba realizada toda la obra de SATE con lo que se ha de comparar este periodo con el año anterior (invierno 19-20). Año de inicio de la pandemia. El estado de confinamiento en los hogares pueden hacer que los consumos en este primer invierno de pandemia hiciera aumentar o disminuir consumos, como así ha sido en los primeros meses de pandemia. Una de las viviendas quedó vacía y en otra paso a vivir una persona más.
- Pérdidas mostradas en termografías del saliente (pequeño alero) de la última solera. Estas pérdidas ayudan en la pérdida de energía del piso P1 (5<sup>º</sup>-3<sup>ª</sup>)

### Problemas encontrados por el camino

- No siempre ha sido posible la elección del periodo más representativo del aspecto que se quería medir ya que en algunas ocasiones ha habido problemas con las sondas (no median correctamente, dejaban de medir o se agotaba la batería) y en otras ocasiones ha habido dificultades para ponerse en contacto con los inquilinos de las viviendas (periodos en que alguna vivienda estaba desocupada, problemas de salud o poca colaboración).
- La sonda de monitorización, en la vivienda bajo cubierta P1, no recoge las variaciones de temperatura del sistema de refrigeración móvil de la vivienda al encontrarse ambos en estancias diferentes.

### Aspectos a tener en consideración. Condicionantes de los resultados obtenidos en las comparaciones realizadas.

Al realizar la comparación de los análisis y resultados obtenidos a partir de las monitorizaciones y facturas con los datos devueltos por el programa HULC se deben tener en cuenta aquellos factores que puedan haber condicionado ambos resultados. Factores como:

- Perfiles de uso de vecinos de las viviendas (horarios de funcionamiento de calefacción y refrigeración, consignas de temperatura, consumos diario de ACS, tasas de ventilación, etc.) diferentes de los establecidos por el CTE en la simulación en HULC
- Diferencia entre el inicio de año en cálculos con facturas (mediados de julio) y los inicios de año de HULC (1 de enero).
- Diferencias entre superficies de viviendas en cálculos por medio de facturas y las contempladas en HULC

### Diferencias respecto a espacios considerados

Parte de las diferencias existentes entre los cálculos del programa de simulación y las analizadas a partir de monitorizaciones y facturas vienen del hecho de partir de superficies de viviendas diferentes.

Piso	Superficie según Planos proyecto (m2)	Superficie según HULC (m2)	Superficie según Catastro (m2)
P1 (5 <sup>º</sup> - 3 <sup>ª</sup> )	46,67	51,97	57,00
P2 (3 <sup>º</sup> - 3 <sup>ª</sup> )	46,67	51,97	57,00
P3 (1 <sup>º</sup> - 1 <sup>ª</sup> )	43,7	45,66	54,00

Tabla 96. Diferencias superficies

Esta diferencia viene principalmente de considerar, en los análisis, solo la superficie de cada vivienda (libre de muros fachadas y tabiques) indicada en los planos de la memoria original obtenida del archivo municipal, mientras que la caracterización en HULC ha sido considerando el espacio de tabiques y muros interiores parte de la superficie de la vivienda. Por otro lado las dimensiones indicadas en el catastro municipal son superiores a las dos anteriores.

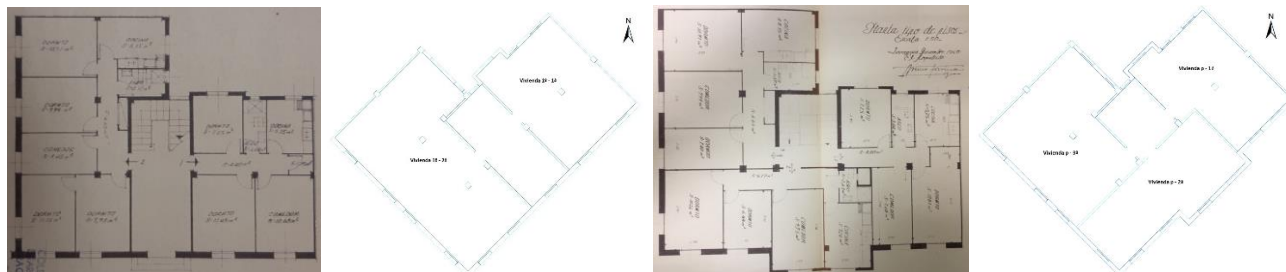


Figura 28. Planos originales y planos DXF

### Caudal de ventilación

El caudal de ventilación indicado en HULC (272,39l/s) es el señalado por el CTE (0,63 ren/h) sin embargo el calculado sería el mostrado en la Tabla 97, es decir, algo menor que el caracterizado lo que implicaría menos pérdidas en invierno.

Caudal de ventilación		
Nº Viviendas (2 dormitorios):		13
Nº Viviendas (4 dormitorios):		1
Cocina (l/s)		127
Porcentaje tiempo funcionando extractor cocina (50l/h) en 1 hora		4%
Aseo (l/s)		99
Caudal Total	en l/s	226
	en m3/h	813,6
nen total (m <sup>3</sup> )		1556,5
Renovac. hora (ren/h)		0,52

Tabla 97. Calculo caudal de ventilación en edificio

Para realizar los cálculo del caudal de ventilación se ha supuesto:

- Que el caudal de los locales húmedos es mayor que el de los locales secos.
- Un caudal de ventilación de 8 l/s (según CTE) para cocina y aseo de la vivienda de 4 dormitorios (1 vivienda).
- Un caudal de ventilación de 7 l/s (según CTE) para las viviendas de 2 dormitorios (13 viviendas).
- El caudal de extracción (50 l/s) del extractor de las cocinas de edificio, añadido al caudal de ventilación de las cocinas, es el correspondiente a una hora de funcionamiento al día de los extractores de aire (aprox. un 4%).

## Referencias

- [1] Ayuntamiento Zaragoza, «AYUDAS PARA OBRAS EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS,» 18 Diciembre 2019. [En línea]. Available: [https://www.zaragoza.es/ciudad/gestionmunicipal/ayudasysubvenciones/detalleSub\\_AyudasSubvenciones?id=25903](https://www.zaragoza.es/ciudad/gestionmunicipal/ayudasysubvenciones/detalleSub_AyudasSubvenciones?id=25903).
- [2] E. d. u. 46472/1961, *Construcción de 5 bloques en Ctra. Madrid, 48 - 50 - 52- 54 y 54 dpdo.*, Zaragoza: Seminario, 1961.
- [3] E. d. u. 202999/2020, *Rehabilitación de edificio y supresión de barreras arquitectónicas.*, Zaragoza: Archivo Seminario, 2020.
- [4] RockWool, «RockSATE Duo Plus,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.rockwool.com/es/productos-y-aplicaciones/productos/gama-rocksate/rocksate-duo-plus/>. [Último acceso: 2022].
- [5] BOPZ, «Boletín Oficial de la Provincia de Zaragoza,» 8 mayo 2021. [En línea]. Available: [https://www.ayudasrehabilitacionzaragoza.es/storage/Anuncio\\_y\\_Convocatoria\\_Entregas\\_Dinerarias\\_sin\\_contraprestacio%CC%81n\\_2021-2022.pdf](https://www.ayudasrehabilitacionzaragoza.es/storage/Anuncio_y_Convocatoria_Entregas_Dinerarias_sin_contraprestacio%CC%81n_2021-2022.pdf).
- [6] Ministerio de Transporte Movilidad y Agenda Urbana, «Código Técnico de la Edificación,» 14 Junio 2022. [En línea]. Available: <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html>. [Último acceso: 2022].
- [7] IDAE, «Análisis del consumo energético del sector residencial en España,» 2011.
- [8] Sarigas Italia, «SARIGas Riscaldamento & Climatizzazione,» [En línea]. Available: [http://www.sarigas.it/file\\_content/download\\_doc/2\\_spa.pdf](http://www.sarigas.it/file_content/download_doc/2_spa.pdf). [Último acceso: 2022].
- [9] Sanier Duval, «Sanier Duval,» [En línea]. Available: <https://www.saunierduval.es/downloads/themaclassic/themaclassic-mi-586390.pdf>. [Último acceso: 2022].
- [1 BAXI, «BAXI Area Profesional,» [En línea]. Available: <https://mediacdn.baxi.es/-/media/inriver-media/baxi-iberia-media/2020/5/26/a00b02c13d63proinsman104pdf.pdf?v=1&d=20200526T172641Z>. [Último acceso: 2022].
- [1 Grafana Labs, «Grafana Enterprise Stack,» [En línea]. Available: 1] <https://grafana.com/products/enterprise/>. [Último acceso: 2022].
- [1 Dragino Technology Co., LTD, «LPS8N Indoor LoRaWAN Gateway,» [En línea]. Available: 2] <https://www.dragino.com/products/lora-lorawan-gateway/item/200-lps8n.html>. [Último acceso: 2022].
- [1 ELSYS.se, «ERS CO2,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.elsys.se/en/ers-co2/>. 3]
- [1 Dragino Technology Co., LTD, «LHT65 LoRaWAN Temperature & Humidity Sensor,» [En línea]. Available: 4] <https://www.dragino.com/products/temperature-humidity-sensor/item/151-lht65.html>. [Último acceso: 2022].



- [1 C. C. M. C. Monné Bailo, «Estudio del comportamiento de la lana de roca en rehabilitaciones energéticas  
5] de viviendas en el barrio de Balsas de Ebro Viejo (Zaragoza),» Equipo investigador Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2020.
- [1 C. C. M. C. Monné Bailo, «Estudio del comportamiento de la lana de roca en rehabilitaciones energéticas  
6] de viviendas en el barrio de Balsas de Ebro Viejo (Zaragoza),» Equipo investigador Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2020.
- [1 F Manzano-Agugliaro et al., «Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal  
7] comfort,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 736-755, 2015.
- [1 d. 2. BOE» núm. 207, *Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de  
8] Instalaciones Térmicas en los Edificios.*, 2008.
- [1 Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), «Guía de aplicación DB HE 2019,»  
9] Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, Madrid, 2022.
- [2 Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «Certificación energética,» 2022. [En  
0] línea]. Available:  
<https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/documentosreconocidos.aspx>.
- [2 M. M. B. L.-M. F. Kurtz, «Obsolescencia de la envolvente térmica y acústica de la vivienda social de la  
1] postguerra española en áreas urbanas vulnerables. El caso de Zaragoza,» *CSIC*, vol. 67, nº Num. extra (2015), 2015.
- [2 I. Z. E. e. a. J. Aranda, «Building Energy Assessment and Computer Simulation Applied to Social Housing  
2] in Spain,» *Buildings*, nº 2018.8, 11 (21pp), 16 January 2018.